



Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada.

Vicente Emmanuel Ortega Cárdenas

Universidad Nacional de Colombia

Autor:

Vicente Ortega Cárdenas, Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2018

Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada.

Vicente Emmanuel Ortega Cárdenas

Tesis de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ingeniería - Geotecnia

Director:

Msc. Frank Montoya Callejas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2018

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico en primer lugar a mi Dios por derramar sus bendiciones sobre mí, llenarme de voluntad y amor, a mi padre Telmo Vicente Ortega a mi madre María Fernanda Cárdenas ya que con su ejemplo de perseverancia, responsabilidad y apoyo incondicional, he logrado salir adelante, dedicar a mis hermanas: Cinthya Fernanda, María Caridad, gracias a la confianza de mi familia he logrado culminar este tema de investigación el cual marca una etapa más de vida personal y profesional.

Vicente Emmanuel Ortega Cárdenas

Agradecimientos:

Mi agradecimiento personal al personal Docente y de Coordinación de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, por permitirte ser parte de esta noble institución la cual me brindó la oportunidad de cumplir mis metas profesionales, por los conocimientos impartidos y experiencias recibidas, que sin duda serán mi fuerte a lo largo de la vida profesional.

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento respetuoso al Msc. Frank Montoya Callejas y su querida familia por su amistad y apoyo brindado, su profesionalismo y por su don de gente, cualidades que me permitieron vivir una etapa corta pero hermosa de vida en Medellín, además de permitirme alcanzar la meta propuesta.

A mis nuevas amistades en Medellín por su calidad de persona, en especial al Msc. Mauricio Pajoy quien fue mi familia en esta etapa, siempre cuentan con un amigo, gracias por todo el apoyo.

RESUMEN

Esta investigación presenta una metodología técnica para usar aparatos UAV / RPAS (Unmanned Aerial Vehicle / Remotely Piloted Aircraft System) de bajo costo, misma que se constituye en una herramienta importante en la investigación de Estabilidad en Taludes, usando información del entorno espacial y temporal a partir de varias imágenes verticales y oblicuas, de esta manera se obtiene procedimientos eficientes en menores tiempos y con mayor precisión que las habituales. Para ello se realizó una investigación sobre los tipos de UAV's que existen en el mercado, sus ventajas, desventajas y la forma correcta de usarlos, con el objetivo de realizar una descripción paso a paso de su proceso y postproceso, convirtiéndose en una tecnología eficiente dentro del campo de la Ingeniería Geotécnica.

Para esta investigación se usaron dispositivos de tipo multi-rotor, el propósito fue realizar fotogrametría digital y obtener resultados eficientes y precisos para el estudio y evaluación de estabilidad de taludes, además se realizó varios vuelos de investigación de fotografías aéreas verticales y oblicuas, mismas que fueron procesadas en los softwares fotogramétricos Pix4d Mapper y Agisoft PhotoScan, de esta manera se descifró las aplicaciones que nos brinda esta tecnología al momento de levantar información del área inestable en estudio, estos resultados se obtuvieron en base al macro deslizamiento activo “Cachi”, ubicado en Ecuador, Provincia del Cañar, Cantón el Tambo. Por último, se realizó una investigación sobre la visión del entorno físico del mundo real, llamada Realidad Aumentada (RA), el propósito es el de presentar una propuesta de difusión para posteriores trabajos sobre deslizamientos.

Palabras clave: UAV, RPAS, imágenes verticales u oblicuas, estabilidad en taludes, Pix4d Mapper, Agisoft PhotoScan, aerofotografías, realidad aumentada.

SUMMARY

This research presents a technical methodology to use low cost devices UAV/RPAS (Unmanned Aerial Vehicle/ Remotely Piloted Aircraft System), which constitutes an important tool in the investigation of slope stability, using spatial and temporal information from several vertical and oblique images, in this way efficient procedures are obtained in shorter times and with precision that usual. For this purpose, an investigation was carried out on the types of UVA's that exist in the market, their advantages, disadvantages and the correct way to use them, with the aim of making a description step by step of its process and post process, becoming an efficient technology within the field of Geotechnical Engineering.

For this research, multi-rotor type flying devices were used, the purpose was to perform digital photogrammetry and obtain efficient and accurate results for the study and evaluation of slope stability in addition, several research flights of vertical and oblique aerial photographs were carried out, which were processed in the photogrammetric software Pix4dMapper and Agisoft PhotoScan, in this way the applications that this technology gives us when deciphering at the moment we gather information from the unstable area under study, these results were obtained based on the "Carchi" active sliding macro, located in Cañar province, El Tambo town, Ecuador. Finally an investigation was carried out on the vision of the physical environment of the real world, called augmented reality (RA), the purpose is to present a dissemination proposal for subsequent work on landslides.

Key words: UAV, RPAS, vertical and oblique images, stability on slopes, Pix4 Mapper, Agisoft photo scan, aerial photographs, augmented reality.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XX
Lista de Símbolos y abreviaturas	xxi
CAPITULO I.....	23
GENERALIDADES	23
1.2 OBJETIVOS.....	25
1.3 JUSTIFICACIÓN:.....	25
1.4 METODOLOGÍA:.....	27
1.5 OBJETIVOS Y RESULTADOS:.....	29
CAPITULO II.....	30
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
ANTECEDENTES HISTÓRICOS	30
○ CÁMARA AÉREA:.....	32
○ DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA:	34
1.5.2 Proceso de reconstrucción de la superficie del objeto.....	39
○ CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGRAMETRÍA:	43
REALIDAD AUMENTADA COMO HERRAMIENTA TECNOLÓGICA	49
○ ANTECEDENTES HISTÓRICOS	49
○ Tipos de dispositivos de Realidad Aumentada	50
CAPITULO III	52
TIPOS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS	52
○ CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS.....	52
○ SISTEMA DE AERONAVE TIPO ALA FIJA.	52
○ SISTEMA DE AERONAVE ROTATORIO	55
○ MODOS DE OPERACIÓN	61
○ COMPONENTES PRINCIPALES DE UN APARATO MULTIRROTOR:.....	63
○ COMPONENTES IMPORTANTES DE UN APARATO DE TIPO ALA FIJA:.....	67
○ APLICACIONES DE LOS UAV EN INGENIERÍA EN LA ACTUALIDAD:	70
CAPITULO IV.....	73
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS.....	73

○ DEFINICIONES:	73
○ DEFINICIÓN DE SIG:	73
○ SENSOR VISIBLE (RGB):	75
○ ORTOMOSAICOS:	76
○ MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN:	76
DTM (Digital Terrain Model):	77
DSM (Digital Surface Model):	77
○ CURVAS DE NIVEL:	78
○ NUBE DE PUNTOS:	79
○ LA FORMA DE LA TIERRA:	80
○ SISTEMAS DE COORDENADAS.	81
○ GLOBAL POSITION SYSTEM “GPS”	85
○ GPS DIFERENCIAL:	87
CAPITULO V	91
PROCESAMIENTO DEL PROYECTO.....	91
○ UBICACIÓN:.....	91
○ DATOS GENERALES DEL CANTÓN TAMBO:	93
Geología de la zona.....	94
Litoestratigrafía del Área de estudio:.....	94
○ PROYECTO DE VUELO	97
○ APLICACIÓN PIX4D CAPTURE:	104
✓ DJI-GO: Aplicación de Fabrica.....	110
CAPITULO VI.....	113
PROCESAMIENTO AGISOFT PHOTOSCAN	113
○ DEFINICIÓN:	113
Proceso:.....	113
Distribución de GCP en las imágenes y software:.....	118
✓ Creación de nube densa:	123
✓ Depurar nube de puntos densa:.....	124
✓ Crear Malla:	126
✓ Ortomosaico:	128
○ Creación del MDE:.....	128
○ Volúmenes:.....	130
✓ Resultado de Ortofoto:.....	132
✓ Modelo Digital en tres Dimensiones con textura:	132
✓ Mapa de malla, topografía	133
CAPITULO VII	134
PROCESAMIENTO CON PIX4D MAPPER.....	134
○ Definición:.....	134
Proceso:.....	134
✓ Ubicación de puntos GCP:	139

✓ Segundo Procesamiento, Nube de puntos y Malla:	140
✓ Procesamiento orto-mosaico, índice y MDS.	143
✓ Resultado del Ortomosaico:.....	145
✓ Resultado MDS.....	145
✓ Resultado MDT:	146
○ Volúmenes:.....	146
➤ Software Global Mapper “GM”:	148
Proceso:.....	148
○ ArcGis:	152
○ Quick Terrain Modeler:.....	155
○ Ventajas de uso de esta información:	156
○ Desventaja del uso de esta información:	157
CAPITULO VIII.....	158
TÉCNICAS DISPONIBLES PARA EXTRAER INFORMACIÓN EN BASE A FOTOGRAFÍAS AÉREAS	158
○ ¿Se puede realizar reconocimiento del área de estudio con aparatos UAV?:	158
○ ¿Es importante realizar reconstrucción y modelo 3D?:	159
○ ¿Se puede realizar una caracterización geométrica de zona inestable de forma más eficaz y mas segura, usando aparatos UAV?	161
1.46 ¿Con las fotografías aéreas y ortofotos obtenidas a partir de UAV, se puede realizar un análisis del problema con comodidad, precisión, obteniendo resultados de máximo alcance?:	162
○ ¿Atrás de softwares fotogramétricos se puede obtener modelos digitales de elevación y usarlos como una herramienta en el análisis de estabilidad?	168
○ Flujo de Acumulación:	169
Realidad Aumentada	174
○ Definición.....	174
CONCLUSIONES:.....	176
✓ Referente a su aplicación y ejecución:	177
✓ Referente a los softwares de Fotogrametría digital:	178
○ Para establecer la altitud y velocidad de vuelo:	182
○ Veredicto:	187
○ PRECISIÓN.	188
1. Interna o Relativa:.....	188
2. Absoluta:	189
Variación de Geolocalización Absoluta	189
Variación de geolocalización relativa.....	190
✓ Referente al estudio:	190
RECOMENDACIONES:	192
✓ Respecto al procesamiento:	192
✓ Respecto al Estudio:	193

ANEXO - 1	194
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL	194
ANEXO – 2.....	196
PLAN DE VUELO.....	196
ANEXO – 3.....	200
INFORMES SOFTWARES FOTOGRAMÉTRICOS.....	200
PIX4D MAPPER Y AGISOFT PHOTOSCAN	200
ANEXO – 3.....	216
PLANOS Y MAPAS OBTENIDOS CON LOS RESULTADOS FOTOGRAMÉTRICOS	216
Bibliografía	223

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Cronología de los nombres aplicados a las Aeronaves Robóticas.....	32
Figura 2:Fotografía Vertical.....	33
Figura 3: Fotografía Oblicua.....	34
Figura 4: Clasificación de la Fotogrametría.....	35
Figura 5: Clasificación de fotogrametría.....	38
Figura 6: Orientación Interna.....	39
Figura 7: Orientación Absoluta.....	39
Figura 8: Método General de Fotogrametría Convencional	41
Figura 9: ESCALA DE FOTOGRAFÍA AÉREA SOBRE TERRENO LLANO	44
Figura 10: ESCALA DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA SOBRE TERRENO VARIABLE ..	45
Figura 11: SUPERPOSICIÓN DE TRASLAPE PARA FOTOGRAMETRÍA.....	46
Figura 12: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS SEGÚN SU AERODINÁMICA	52
Figura 13: Aparato volador de tipo Ala Alta.....	53
Figura 14: APARATO VOLADOR DE TIPO ALA MEDIA	53
Figura 15: APARATO VOLADOR DE TIPO ALA BAJA	54
Figura 16: Aparato Volador de tipo Ala Volante.....	54
Figura 17: VENTAJAS Y DESVENTAJAS ALA FIJA VS ROTATORIOS.....	55
Figura 18: Clasificación aeronaves de tipo Rotor	56
Figura 19: VENTAJAS Y DESVENTAJAS ALA FIJA VS ROTATORIOS	57

Figura 20: APARATO MULTIRROTOR: TIPO CUADRICOPTERO	57
Figura 21: CARACTERÍSTICAS UAV INSPIRE 1/ DJI	59
Figura 22: APLICACIONES DE UAV, ROTATORIOS VS ALA FIJA.....	61
Figura 23: MARCOS DE APARATO MULTIRROTOR	63
Figura 24: MOTORES, HÉLICES PARA APARATOS MULTIRROTORES	64
Figura 25: CONTROLADOR DE VUELO	65
Figura 26: Radio Receptor	65
Figura 27: BATERÍA DE LI-PO	66
Figura 28: GPS, ANTENA; BRÚJULA	66
Figura 29: CÁMARA Y ESTABILIZADOR	67
Figura 30: TIPOS DE ALAS PARA UAVS.....	68
Figura 31: Partes importantes de UAV de tipo Ala Fija	68
Figura 32: ALA FIJA CON MOTOR ROTATORIO PARA SU SUSTENTACIÓN	69
Figura 33: SIG Y FOTOGRAMETRÍA.....	74
Figura 34: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	75
Figura35: ORTOMOSAICO	76
Figura 36: MODELO DIGITAL DE TERRENO, DTM	77
Figura 37: DSM VS DTM.....	78
Figura 38: CURVAS DE NIVEL.....	78
Figura39: NUBE DE PUNTOS	79
Figura 40: AJUSTE DE GEOIDE A LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.....	80
Figura 41: PROYECCIÓN CÓNICO	82
Figura 42: proyección acimutal de la tierra.....	83

Figura 43: PROYECCIÓN CILÍNDRICA.....	83
Figura 44: CUADRICULA UTM	85
Figura 45: GPS DE ALTA PRECISIÓN DE MANO.....	86
Figura 46: FUNCIONAMIENTO DE GPS DE PRECISIÓN RTK	88
Figura 47: SISTEMA GPS RTK.....	88
Figura 48: DESLIZAMIENTO CACHI.....	91
Figura 49: VISTA PANORÁMICA DEL DESLIZAMIENTO CACHI	91
Figura 50: MATRIZ DE DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES GEOLÓGICAS	95
Figura 51: APLICACIONES PARA PLANIFICACIÓN DE VUELOS AUTOMÁTICAS PARA UAV	97
Figura 52: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO.....	98
Figura 53: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO.....	99
Figura 56: Señalización Punto GCP Figura 57: Señalización Punto GCP	101
Figura 58: GCP 1, PUNTO DE CONTROL EN SUPERFICIE	102
Figura 59: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL Figura 60: TOMA DE DATOS	103
Figura 61: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO.....	103
Figura 62: REGISTRO DE DATOS PIX4D CAPTURE	104
Figura 63: PANTALLA PRINCIPAL Y MODOS DE VUELO	105
Figura 64: PROJECT LIST	106
Figura 65: APLICACIÓN HFDRONE	107
Figura 66: PLANIFICACIÓN DE VUELO EN PIX4D CAPTURE.....	107
Figura 67: PLANIFICACIÓN PIX4D CAPTURE	108

Figura68: INICIO DE VUELO PIX4D CAPTURE	109
Figura 69: CHECK LIST DE MISIÓN DE VUELO	109
Figura 70: CALIBRACIÓN UAV, APLICACIÓN DJI	110
Figura 71: CARACTERÍSTICAS DE LA PLANIFICACIÓN DE MISIONES CON PIX4	112
Figura 72: PANTALLA INICIO SOFTWARE AGISOFT DE PHOTOSCAN	113
Figura 73: CREAR UN NUEVO PROYECTO	114
Figura 74: ELEGIR IDIOMA	115
Figura 75: OPENCL-EL LENGUAJE DE COMPUTO ABIERTO DEL CPU	115
Figura 76: IMPORTAR FOTOGRAFÍAS	116
Figura 77: Sistema de coordenadas en Agisoft	116
Figura 78: CALIBRACIÓN DE CÁMARAS	117
Figura 79: ORIENTACIÓN DE CÁMARAS	117
Figura 80: ORIENTACIÓN DE CÁMARAS	118
Figura 81: ORIENTACIÓN TERMINADA, RESULTADO	118
Figura 82: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS GCP EN EL SOFTWARE	119
Figura 83: AÑADIR MARCADOR	119
Figura 84: UBICACIÓN DE NÚMERO DE MARCADOR	119
Figura 85: MARCA PLATEADA	120
Figura 86: MARCA BANDERA AZUL	120
Figura 87: MARCAS CORREGIDAS CORRECTAMENTE	121
Figura 88: Optimizar cámaras	121
Figura 89: Detalle GCP	122
Figura 90: HERRAMIENTA TIJERAS INTELIGENTES	122

Figura 91: AÑADIR O CORTAR MASCARAS.....	123
Figura 92: CREAR NUBE DE PUNTOS DENSA.....	123
Figura 93: RESULTADO DE LA NUBE DE PUNTOS	124
Figura 94: Clasificación de la Nube de puntos	124
Figura 95: DENSIFICACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS	125
Figura 96: ELIMINACIÓN DE OBJETOS MANUALMENTE.....	125
Figura 97: CREACIÓN DE MALLA	126
Figura 98: RESULTADO MALLA DE COLOR	126
Figura 99: RESULTADO- MALLA DE SOMBRA.....	127
Figura 100: RESULTADO- MALLA DE ALAMBRE	127
Figura 101: Crear Ortofoto.....	128
Figura 102: CREAR MDE	129
Figura 103: Curvas de nivel o contornos	129
Figura 104: MARCAR ÁREA DE VOLUMEN A MEDIR	130
Figura 105: Calculo de volúmenes.....	130
Figura 106: RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLÚMENES	131
Figura 107:ORTOMOSAICO DE PRECISION	132
Figura 108: MALLA DE COLOR, SIN VEGETACIÓN	132
Figura 109: MALLA TOPOGRÁFICA	133
Figura 110: VENTANA INICIAL, SOFTWARE PIX4D MAPPER	134
Figura 111: Crear un archivo -Nuevo proyecto	135
Figura 112: CARGAR IMÁGENES OBTENIDAS POR MEDIO DEL UAV	135
Figura 113: CONFIGURACIÓN DE COORDENADAS.....	136

Figura 114: OPCIONES DE PROCESAMIENTO	137
Figura 115: OPCIONES DE PROCESAMIENTO, VENTANA PRINCIPAL	137
Figura 116: Opciones de procesamiento	138
Figura 117: CONFIGURACIÓN DE OPCIONES	139
Figura 118: INICIO DE PROCESAMIENTO	139
Figura 119: PUNTOS DE APOYO "GCP" EN PIX4D MAPPER	140
Figura 120: Calibración de puntos de apoyo "GCP"	140
Figura 121: PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS Y MALLA	141
Figura 122: RESULTADO DEL PROCESAMIENTO, NUBE DE PUNTOS	141
Figura 123: CLASIFICACIÓN DE PUNTOS	143
Figura 124: Configuración de MDS, Ortomosaico e índices	143
Figura 125: CONFIGURACIÓN DE MDS, ORTOMOSAICO E ÍNDICES	144
Figura 126: ORTOMOSAICO-ORTOFOTO	145
Figura 127: MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE	145
Figura 128: MODELO DIGITAL DE TERRENO	146
Figura 129: UBICACIÓN DE PUNTOS DE REFERENCIA PARA CÁLCULO DE VOLUMEN.....	147
Figura 130: CALCULADORA DE VOLUMEN	147
Figura 131: VENTANA PRINCIPAL - GLOBAL MAPPER	148
Figura 132: VENTANA - INICIAL " GM"	149
Figura 133: PERÍMETRO DE CORTE	149
Figura 134: GENERACIÓN DE CURVAS DE NIVEL-MDT	150
Figura 135: RESULTADO DE PROCESO- CURVAS DE NIVEL	151

Figura 136: GENERACIÓN MDT EN TRES DIMENSIONES	151
Figura 137: GENERACIÓN DE PERFIL DE LA ZONA INESTABLE	152
Figura 138: ARCGIS - AÑADIR ARCHIVOS AL SOFTWARE	153
Figura 139: ARCGIS- SUAVIZADO DE CURVAS DE NIVEL	154
Figura 140: ARCGIS- SUAVIZADO DE CURVAS DE NIVEL- TERMINADO	154
Figura 141: QUICK TERRAIN MODELER	155
Figura 142: QUICK TERRAIN MODELER- ANÁLISIS	156
Figura 143: DOMOS DE MORRENAS Y TILLS "DRUMLINS"	159
Figura 144: COORDENADAS Y ANCHO DE VÍA AFECTADA	160
Figura 145: Ubicación y Secciones	160
Figura 146: RECONOCIMIENTO TOTAL DE ZONA	161
Figura 147: ESTRATIFICACIÓN DE LA ZONA INESTABLE	162
Figura 148: SECUENCIA DE ORTOFOTOS EN EL TIEMPO	163
Figura 149: FOTOGRAFÍA AÉREA	164
Figura 150: FOTOGRAFÍA AÉREA	165
Figura 151: FOTOGRAFÍA AÉREA- LAGUNAS	166
Figura 152: Fotografía aérea- Zonas Húmedas	166
Figura 153: FOTOGRAFÍA AÉREA- CORONA DEL DESLIZAMIENTO	167
Figura 154: FOTOGRAFÍA AÉREA - PIE DEL DESLIZAMIENTO	167
Figura 155: Procesos Geomorfológicos	168
Figura: 156: Rotacional con empozamiento	169
Figura 157: Mapas de acumulación de flujo, Características	170
Figura 158: Mapa flujo de acumulación - Estabilidad	171

Figura 159: Valor de pixel detectado	172
Figura 160: Identificación de líneas de flujo.....	172
Figura 161: Línea de Flujo	173
Figura 162: Línea de Flujo	173
Figura 163: Visor de Realidad Aumentada	175
Figura 164: Visor de realidad Aumentada con "Aumentaty Author"	176
Figura 165: Solapamiento de Imágenes vs Altura de Vuelo.....	184
Figura 166: Área de gabinete y Procesamiento.....	185
Figura 167: Modelación en tres dimensiones y texturas vs Softwares	185
Figura 168: Nube de puntos densa, Comparación Softwares.....	186
Figura 169: Ortomosaico vs Softwares	186
Figura 170: Modelo digital de terreno vs Softwares	187
Figura 171: Error nube de puntos densa	188
Figura 172: Variación de Geolocalización Absoluta	189
Figura 173: Variación de Geolocalización Relativa	190

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Valores orientativos de solape según tipo de terreno.....	47
Tabla 2: Costos y características de los UAVs más populares del mercado.....	60
Tabla 3: CARACTERÍSTICAS ALA FIJA VS ALA ROTATORIA	63
Tabla 4: Características de Pix4d vs Agisoft PhotoScan	178
Tabla 5: Tiempo de procesamiento Pix4d vs Agisoft	179
Tabla 6: Adquisición de importación	180
Tabla 7: Comparación entre las alturas de vuelo y los GSD aproximados	181
Tabla 8: Establece la altitud, velocidad y superposición	182
Tabla 9: Diferencia Modelación 3D Vs Altura Vs Numero de fotografías	183
Tabla 10:Número de puntos, Pix4D Vs Agisoft	185

Lista de Símbolos y abreviaturas

UAS	Unmanned Aerial System
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
UAV	Unmanned Air Vehicles
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UMA	Unmanned Aircraft
APY	Automa-tically Piloted Vehicle
UTA	Unmanned Tactical Aircraft
UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle
ROA	Remotely Operated Aircraft.
CCD	Sensores usados en cámaras digitales y cámaras de video para grabar imágenes fijas y en movimiento.
SIG	Sistema de información Geográfica.
GSD	Ground Sample Distance

PALABRAS CLAVES:

Paralelaje: La paralaje es el desplazamiento de la posición de un objeto en dos fotografías consecutivas.

Visión Computacional: Hacer que un computador sea capaz de ver y reconocer objetos físicos.

Restitución: Trata el problema de obtener y almacenar las coordenadas de un determinado objeto a partir de las correspondientes foto coordenadas calculadas sobre el par estéreo (fotografías).

Fotografía Multiespectral: Fotografía tomada con una cámara Multiespectral o con un ensamblaje de varias cámaras con distintos filtros para cubrir distintas porciones del espectro visible y de la región infrarroja cercana.

Fotograma: Imagen captada por una cámara métrica, se les llama comúnmente fotografías o fotos, pero pueden ser también imágenes en formato digital.

Aero-Triangulación: Es una técnica de interpolación que tiene por propósito extender fotogramétricamente el control horizontal y vertical (apoyo terrestre) proporcionado por un número reducido de puntos de control, a todos los modelos estereoscópicos. La Aero triangulación consiste en la triangulación e intersección espacial simultánea de los haces de rayos registrados en las imágenes. Los haces proyectados a partir de dos o más imágenes que se traslapan e intersectan en los puntos de control fotográfico comunes, para definir coordenadas tridimensionales para cada punto. La totalidad de los haces de rayos se ajusta matemáticamente a los puntos de control fotográfico conocidos. Lo que permite conocer las coordenadas del terreno de puntos desconocidos (puntos de paso) a partir de la intersección de los haces de rayos ajustados y realizar la orientación exterior de los modelos estereoscópicos.

Escala Fotogramétrica: Relación numérica que existe entre la realidad y lo fotografiado, medido directamente en el negativo o en fotos de contacto.

Imagen Digital: Es una interpretación pictorial compatible con un equipo de cómputo en la cual la imagen está dividida en un teselado muy fino o píxeles, estructurado en renglones y columnas a los que se les asigna un valor.

CAPITULO I

GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

EL PROBLEMA:

Durante la última década la amenaza de deslizamiento en taludes es uno de los fenómenos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año. (Brabb y Hrod,1989), ya que zonas inicialmente estables, pueden volverse inestables con la construcción de infraestructura, deforestación, Etc.

“El sentimiento de impotencia frente a los desastres naturales se multiplica en los países en vías de desarrollo, se estima que en los próximos 25 años el 85 % de la población de Latinoamérica residirá en áreas urbanas inestables” (Ellis, Guardado y Sánchez, 2012, p.5). Las investigaciones en el tema de estabilidad de taludes avanzan a pasos agigantados sobre todo en la predicción y rapidez de ocurrencia, pero sabemos que los métodos de investigación son limitados en cuanto a rapidez de obtención de información detallada y precisa, sobre la zona de estudio, aún más cuando se trata de lugares que son sencillamente inaccesibles para las personas o cuando se estudia problemas de inestabilidad de grandes extensiones donde es necesario investigar y encontrar el factor desencadenante que provoca el problema de inestabilidad en taludes y laderas.

Gracias a los llamados UAS (Unmanned Aerial System) o RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) de bajo costo, que son términos bastante usados en estos últimos años para los vehículos aéreos sin tripulación que funcionan de forma autónoma o manual, se puede recuperar información del entorno espacial y temporal a partir de varias imágenes aéreas verticales u oblicuas y reconstruir un deslizamiento en tres dimensiones a pesar que las imágenes son bidimensionales

(3D a partir de 2D), desde el punto de vista fotogramétrico, y de esta manera a través de la información obtenida, realizar una investigación rápida para determinar las posibles causas de los fenómenos de inestabilidad presentes en el sector, además de obtener topografía de altas pendientes, con alta precisión y usarlos en proyectos ingenieriles; se trata de contestar las siguientes preguntas: ¿Con el uso de aparatos UAV de bajo costo podemos recolectar información y diseminar estos datos complejos para usarlos como una herramienta en los estudios de estabilidad de laderas y taludes como es el caso del macro deslizamiento activo denominado “Cachi” ubicado en Ecuador, enfocándonos en la velocidad, precisión y eficiencia de dichos datos?, ¿Cuales serian los pasos a seguir mediante UAV para obtener geo-información en el caso de los deslizamientos y la evaluación de su precisión?, se puede realizar una caracterización geométrica de zona inestable de forma más eficaz y mas segura, usando aparatos UAV?.

Así aprovechar las ventajas de tener un aparato volador que porte sensores (cámaras) y sea capaz de obtener fotografías aéreas y videos de la zona inestable, en seguida de la tragedia y posteriormente para estudios de estabilidad.

Con el propósito de conocer la dinámica y la peligrosidad del macro deslizamiento activo denominado Cachi, que se encuentra ubicado en el País de Ecuador, Provincia del Cañar, Cantón Cañar, Comunidad Cachi, en el cual su campo de acción afecta a la vía llamada “Panamericana”, la misma que es de suma importancia para el País, por su gran extensión. Lo que se pretende es minimizar tiempo, costos y recursos, buscando priorizar la mitigación de movimientos en la zona afectada usando tecnología (plataforma aérea no tripulada), como una herramienta importante para su estudio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL:

Generación y evaluación de un procedimiento eficiente para la obtención de geo-información geotécnica mediante UAV de bajo costo y usarlos como herramienta en la evaluación y estudio del macro-deslizamiento denominado “Cachi”.

1.2.2 ESPECÍFICO:

- ✓ Realizar un análisis de los tipos de UAVs existentes en el mercado, multirrotores vs alas fijas.
- ✓ Establecer el conjunto de pasos a seguir para la obtención de los productos de interés, usando dos softwares Fotogramétricos denominados PIX4D Mapper y Agisoft PhotoScam.
- ✓ Investigar a base de vuelos repetitivos, las alturas de vuelo y GCP (ground control points) necesarios para obtener precisiones de pixel óptimas para este tipo de trabajos específicos en condiciones de difícil acceso y altas pendientes.
- ✓ Realizar la diseminación de la información levantada a través de la tecnología de realidad aumentada.

1.3 JUSTIFICACIÓN:

Mediante la combinación de técnicas no invasivas con UAV, fotogrametría digital, y sistemas de información (GIS), podemos visualizar diferentes perspectivas de la misma escena al mismo tiempo, lo que proporciona sistemas de visión con una respuesta más rápida, permitiendo toma de datos masiva en extensiones grandes de forma rápida, eficaz y precisa, de esta manera se logra

obtener una variedad de productos cartográficos, gráficos y geométricos, que pueden ser usados como herramientas en estudios del ámbito Geotécnico.

Al planificar un plan de vuelo de calidad y realizar posteriormente la toma de datos en campo de forma eficiente, se puede obtener ortofotos de buena calidad actualizadas del lugar de estudio, nube de puntos 3D, malla 3D texturizada, un modelo digital de superficie (DSM) y un modelo digital de terreno (MDT) en formatos raster, además, podremos generar curvas de nivel a detalle, perfiles longitudinales y transversales del terreno, mapa de pendientes, procesamiento especiales como el mapa de flujo de acumulación, análisis de secciones, entre otros, además se consigue trabajar en la nube densa de puntos y realizar tratamientos geométricos, obtener los componentes X,Y,Z para hallar áreas, perfiles y volúmenes de la zona inestable.

Lo que se intenta es ofrecer soluciones en el amplio espectro de aplicaciones que nos brinda la Ingeniería y Geotecnia, con el objetivo de resolver problemas dentro del análisis e investigación de los deslizamientos de taludes y laderas.

El propósito es realizar investigación a través de vuelos repetitivos y obtener precisiones de pixel óptimas para este tipo de trabajos, usando tiempos de procesado menores que los habituales, tomando en cuenta que estos aparatos voladores son de bajo costo, flexibles, fáciles de volar y aterrizar.

Podremos evaluar la capacidad del UAV para obtener imágenes de fisuras y desplazamientos en la superficie de deslizamiento, encontrar las posibles causas del deslizamiento, además de analizar la zona desde una perspectiva diferente, garantizando la seguridad del personal, adicionalmente podremos difundir información levantada usando la tecnología denominada realidad aumentada.

Los aparatos aéreos controlados remotamente ayudan a resolver un abanico de problemas que se pueden plantear al terminar esta investigación, es importante conocer sus definiciones, herramientas, procesos y técnicas que ayudarán a simplificar tiempo de trabajo además de reducir labor humana, la misma que se demostrara con la topografía de altas pendientes.

Las eficacias de los aparatos aéreos definen la excelente calidad esperada al final de la investigación, con el afán que cualquier Ingeniero Geotécnico pueda llegar a la zona inestable y se pueda retirar en poco tiempo, después de usar su aparato UAV y sea capaz de realizar estos procedimientos, para su posterior análisis a detalle de una gran extensión, evitando recorridos de muchas horas, en climas difíciles o permanecer con incertidumbres de no conocer y analizar lugares que son simplemente inaccesibles, de esta forma el Ingeniero pueda procesar en su oficina mucha mayor información, para soluciones rápidas y eficaces, dentro de esta investigación obtendremos algunas ventajas, entre las principales:

- Reducción de tiempo.
- Aumento de eficiencia en el acopio de información.
- Mejor relación costo: calidad.
- Elimina riesgo para trabajadores durante la toma de datos en obra.
- Vuelo estacionario estabilizado.

1.4 METODOLOGÍA:

La metodología se divide en tres etapas para esta investigación, así tenemos:

PRIMERA ETAPA: Organización y recolección de información.

Recopilación y análisis de la documentación (Acopio de Libros o textos, tesis, revistas, artículos periodísticos, internet, etc.), acerca de el estado de arte de los UAV, Realidad Aumentada, tipos

de UAV, metodologías usadas en el ámbito de fotogrametría y tomas aéreas de fotografías verticales u oblicuas.

Esta información será complementada con información sobre los estudios del deslizamiento denominado “Cachi” ubicado en Ecuador, si es que existe, además de información recopilada en el campo, imágenes satelitales, fotografías áreas y en fuentes provenientes de páginas web como, Google Map, Google Earth, si son necesarios.

SEGUNDA ETAPA: Reconocimiento de campo.

- Se realizará recorridos de campo por la zona y su área de influencia.
- Ubicación de los Puntos de Control Terrestre o GCPs.
- Crear los planes de vuelo en un software que sea compatible con el aparato aéreo.
- Buscar el solape entre imágenes longitudinales y un solape transversal óptimo para este proyecto.
- Se realizará varios vuelos y cientos de fotografías para relacionar comparaciones entre pixeles vs altura del aparato.
- Se realiza muchas tomas aéreas verticales u oblicuas, mediante vuelos no tripulados pero controlados.

TERCERA ETAPA: Trabajo de Gabinete.

Finalmente, con el estudio e investigación de la información encontrada, reconocimiento de campo, gracias a los vuelos se establecerá:

- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos, tanto en la investigación como los resultados de las tomas aéreas verticales u oblicuos.
- Procesamiento y análisis encontrados en el deslizamiento a través del procesamiento realizados y la topografía de altas pendientes.

Además:

- Investigación para realizar difusión de la zona de estudio por medio de la nueva tecnología de realidad aumentada.
- Procesamiento de imágenes en el software autónomos, reconstrucción 3d, DEM, Ortofotos de precisión, etc.
- Presentación de planos y redacción de resultados.

1.5 OBJETIVOS Y RESULTADOS:

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal la unión de dos disciplinas que provienen de dos mundos diferentes, pero son complementarias, como lo es el tratamiento digital de imágenes (fotogrametría), usando metodología de visión por computadora que se encuentra enmarcada en la modelación geométrica tridimensional de un objeto todo esto con la ingeniería Geotécnica.

A través de este procedimiento lo que se anhela es lograr lo siguiente:

- Conseguir una mayor automatización del proceso de reconstrucción de una escena tridimensional.
- Reducir el tiempo de trabajo necesario en un proyecto de reconstrucción tridimensional.
- Conseguir la densidad de información 3D y 2D suficiente para la producción con un alto nivel de detalle.
- Conseguir la precisión suficiente que exigen los proyectos de topografía.
- Obtener mejores productos óptimos para este tipo de estudios, (Bejarano,2013).
- Tener un paso a paso gracias al procedimiento de vuelo y uso de UAVs y procesos en los diferentes softwares usados.

CAPITULO II

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La fotografía aérea se puede definir como una imagen del terreno captada por un sensor (cámara), sobre un plano (el del negativo o el de la foto) captada desde cualquier avión u otra nave que se encuentre equipada con dicho sensor. (Zapata, 2003,p.25)

La fotografía aérea no es un término nuevo como lo suelen suponer al escuchar o leer dicha expresión, pues en el año de 1860 desde un globo aerostático a una altura de 650 m, fue tomada la fotografía aérea más antigua conservada, esta fue fotografiada por el fotógrafo francés James Wallace Black en la ciudad de Boston, afirma (Tostado, 2016), desde esta época al igual que la mayoría de innovación tecnológica estos sensores (cámaras) fueron cambiando siendo usadas por palomas, cometas y aeronaves, antes que pase este suceso según (Zapata, 2003,p.7-13) cuenta que en el año 1851 Aimé Laussedat, crea el primer aparato para realizar levantamientos fotogramétricos con ayuda de fotografías terrestres y el primer método de restitución por intersección, debido a este gran logro es recordado como el “EL PADRE DE LA FOTOGRAMETRÍA”. Además, en el año 1900 el investigador Teodoro Scheimpflug, fue capaz de resolver el problema de fotografía aérea usando una cámara de ocho lentes, la misma fue sujeta a la canasta del globo, obteniendo una serie de fotografías oblicuas y verticales con fines fotogramétricos.

Años después en 1917 apareció la tecnología Drone, gracias a un ingeniero Ingles Archibald Low, quien fue capaz de controlar un pequeño prototipo guiado por radio, aunque no fue todo un éxito, ya que los problemas y averías de los motores de ese tiempo hicieron que la Real Fuerza

Aérea Británica perdiera interés en el tema, a pesar del innegable recibimiento desde el punto de vista automático o eléctrico. En la época de los 60, durante la guerra de Vietnam, fue usada esta tecnología por el ejército Estadounidense para fotografiar y vigilar a sus enemigos, en esta época se popularizó la palabra Drone en inglés, cuya traducción al español es “zángano” (macho de abeja malera) según (López, 2015, p.13-30).

Hace aproximadamente una década atrás se empieza a nombrar a los llamados Drones con diferentes siglas, aunque la mayor parte de población la usa de manera indistinta, no lo hacen de forma correcta, ya que no suelen significar lo mismo, para facilitar su comprensión definiremos sus siglas:

DRON: Este término ya figura en el diccionario de la Real Academia de la lengua y se usa para denominar a los aparatos no tripulados.

UAV: (*Unmanned Aerial Vehicle*): Vehículo aéreo no tripulado, el mismo se hizo común en los años 90.

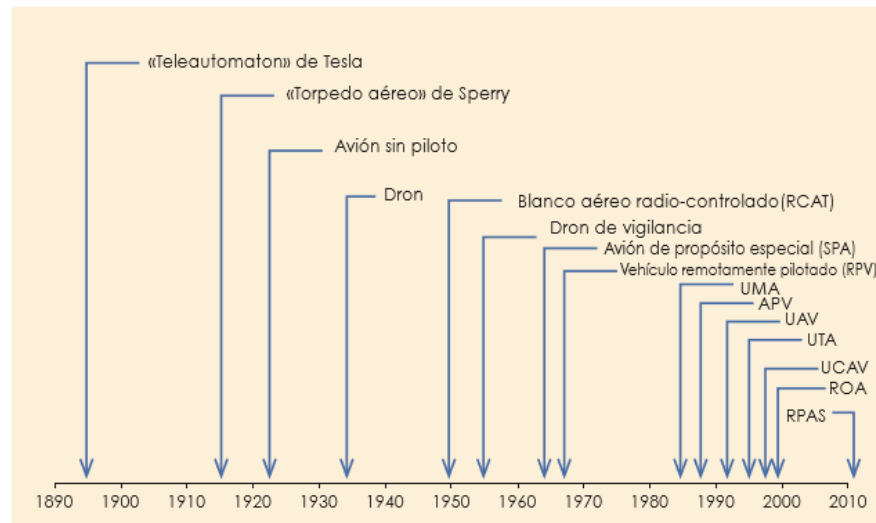
UAS: (*Unmanned Aerial System*): Sistema aéreo no tripulado, se caracteriza por usar un avión que puede ser dirigido a través de un mando (sistema de control).

UCAV: (*Unmanned Combat Aerial Vehicle*): Vehículo aéreo no tripulado de combate, este tipo de aparatos no tripulados son capaces de portar armamento para atacar a sus enemigos.

RPA: (*Remotely Piloted Aircraft*): Aviones no tripulados pero controlados de forma remota, además (Ducoy, 2015) comenta que este término fue bastante usado por los militares durante la guerra de Vietnam, también asegura que cualquiera de estas siglas usadas últimamente siempre deben ser escritas en mayúsculas, ya que actualmente el lector se identifica con las mismas.

Según (Cuerno, 2015), explica que las siglas de este tipo de tecnología, no son nuevas ya que estas vienen evolucionando a través de los tiempos, y nos presenta una cronología: Ver (Figura 1)

Figura 1: Cronología de los nombres aplicados a las Aeronaves Robóticas.



Fuente: (Cuerno, 2015)

○ CÁMARA AÉREA:

El sistema empleado en fotografía para la captación de imágenes según (Otero, Ezquerra, Rodríguez Solano, Martín, & Bachiller, 2008), consta de tres elementos: sensor, filtro y película.

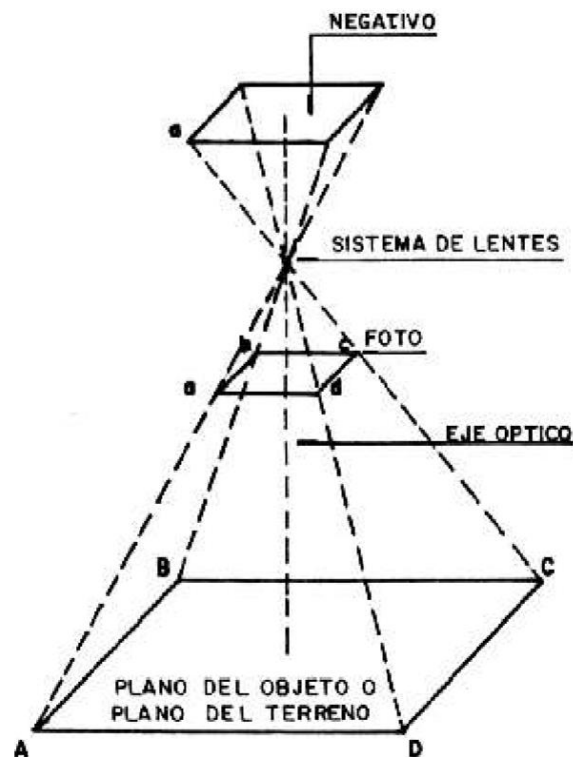
La recepción de radiaciones electromagnéticas en el espacio se caracteriza porque el emisor y el receptor no están en contacto. El receptor recibe el nombre de sensor remoto, que puede ser activo cuando lleva incorporada su propia fuente de radiación (caso del radar), o bien pasivo (caso de la cámara fotográfica) cuando capta radiaciones no emitidas por él. El filtro tiene como función disminuir la influencia de la niebla atmosférica y limitar el paso de radiaciones luminosas de una determinada longitud de onda. Los filtros obligan a aumentar el tiempo de exposición en función del factor del filtro. La película está constituida por un soporte de gran estabilidad dimensional y por una emulsión sensible a ciertas regiones del espectro electromagnético, forman una imagen del terreno en la cual sus aspectos fisiográficos, iluminados directamente por el sol y por la luz que reflejan las nubes, aparecen diferenciados por los factores tono, textura y forma. (Otero, Ezquerra, Rodríguez Solano, Martín, & Bachiller, 2008, p.4)

Clasificación de las fotografías:

Ya que trabajamos con aparatos Uavs, clasificaremos a las fotografías según la inclinación del eje de la cámara:

Verticales: Aquella en la cual el eje óptico de la cámara es perpendicular al plano del objeto al plano de la foto y al plano del negativo. La escala es uniforme en toda la fotografía y solo ocurren diferencias debidas a la topografía del lugar. Son las más fáciles de restituir. (Zapata, 2003,p. 25), Ver (Figura 2)

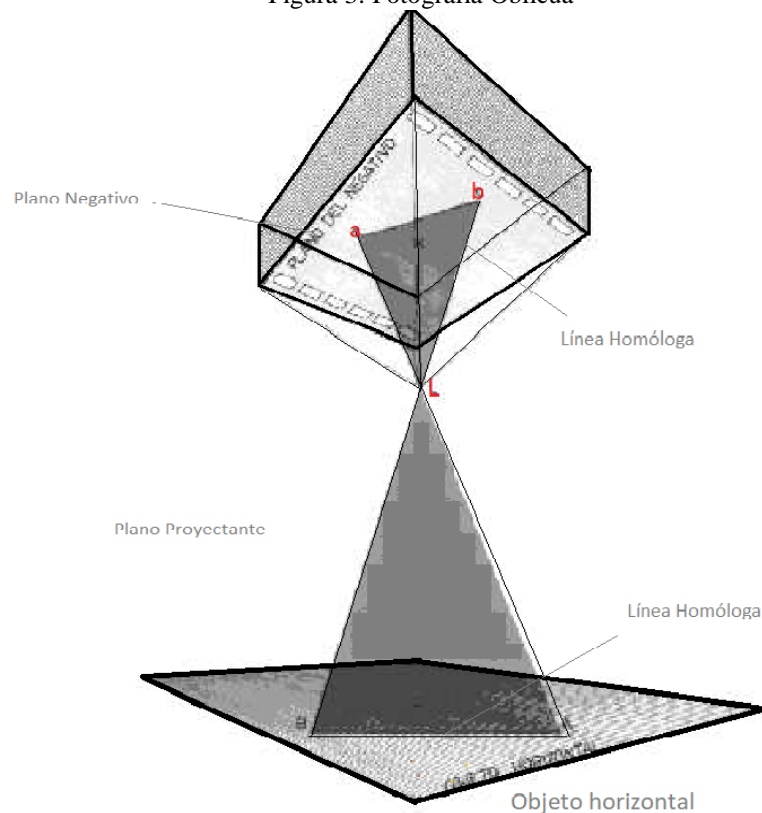
Figura 2:Fotografía Vertical



Fuente: (Zapata, 2003)

Oblicuas: En este tipo de fotografías debe existir una inclinación del eje de la cámara de tal manera que se pueda obtener una panorámica de la zona, de esta manera según la inclinación el horizonte pueda ser visible o no, afirma (Zapata, 2003), Ver (Figura 3).

Figura 3: Fotografía Oblicua



Fuente: (Zapata, 2003)

○ DEFINICIÓN DE FOTOGRAMETRÍA:

Existen muchas maneras de definir la Fotogrametría, ya que a lo largos de los años existen varios autores que han venido actualizando dicha definición, la definiremos como: “Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de obtención de información confiable sobre los objetos físicos y el medio ambiente a través del proceso de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas, patrones de imágenes de radiancia electromagnética y otros” (Orellana, 2006, p. 1).

El nombre de "fotogrametría" se deriva de las palabras griegas Phos o Phot que significa luz, gramma que simboliza carta o algo elaborado y metrein cuyo significado es el sustantivo de medida, afirma (Schenk, 2005).

De esta manera podemos decir que la Fotogrametría no es más que una ciencia que se basa en la tecnología y que nos permite a través de la fotografía (aérea o terrestre), tener una perspectiva diferente de las cosas y objetos físicos, con el fin de poder obtener medidas precisas y elaborar mapas que contesten preguntas territoriales, para luego interpretarlos con facilidad y detalle.

Divisiones de Fotogrametría:

Según (Herrera, 1987) la fotogrametría se clasifica en dos especialidades de acuerdo con el tipo de fotografía usada y el método o tratamiento usado, de esta manera: Ver (Figura 4).

Figura 4: Clasificación de la Fotogrametría



Fuente: (Herrera, 1987)

✓ **Según el Tipo de Fotografía:**

Fotogrametría terrestre: La fotografía es usada en una posición tal que, el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre.

Fotogrametría aérea: Fotografías obtenidas desde vehículos aéreos; el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre.

✓ **Según el Tipo de Tratamiento:**

Fotogrametría analógica: Si se entiende por fotogrametría, como se ha comentado, la determinación precisa de un objeto en el espacio, mediante la utilización de fotografías aéreas, la fotogrametría analógica lo consigue mediante la utilización directa de dichas fotografías (formando modelos estereoscópicos), reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos.

Fotogrametría analítica: En este caso el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría.

Fotogrametría digital: Fotogrametría que utiliza como dato de entrada las fotografías aéreas previamente transformadas a formato digital, reconstruyendo así mismo el modelo espacial de forma numérica o digital; en este caso los conceptos relativos a tratamiento digital de imágenes cobran gran importancia, (Otero et al., 2008).

Este trabajo se centra dentro de la fotogrametría digital, ya que a través de fotografías digitales se puede guardar información (Almacenamiento de Metadatos), generada el instante de la toma, en un archivo denominado Exif (Exchangeable image file format), el mismo que puede guardar cierta información en las imágenes de cámaras digitales.

Entre los datos importantes tenemos:

- Fecha y hora.
- Información de localización, coordenadas de GPS conectada a la cámara, datos x, y, z.
- Datos de configuración y calibración de la cámara.

Gracias a esta tecnología, que se ha venido desarrollando y creciendo a lo largo de estos últimos años y ha sido capaz de lograr automatizar estos procesos fotogramétricos, con la finalidad de que se tenga la capacidad de obtener medidas.

Esta forma de evaluar ciertos tipos de objetos físicos, son el resultado de “cálculos matemáticos” establecidos a través de una serie de algoritmos y su correspondencia de imágenes, de esta manera se puede generar datos espaciales 3D y la generación de un modelo 3D, a partir de una nube de puntos, y de forma muchas más rápida. Dicho proceso permite encontrar de forma automática las orientaciones, ubicaciones de los elementos a través de la fotografía”. (Sánchez Fenoll, 2014, p.31)

La disponibilidad de imágenes en formato digital y el aumento de la capacidad de proceso de los computadores digitales abrieron una gran variedad de posibilidad de adaptación de técnicas de otras disciplinas. La primera de ellas es el procesamiento digital de imágenes.

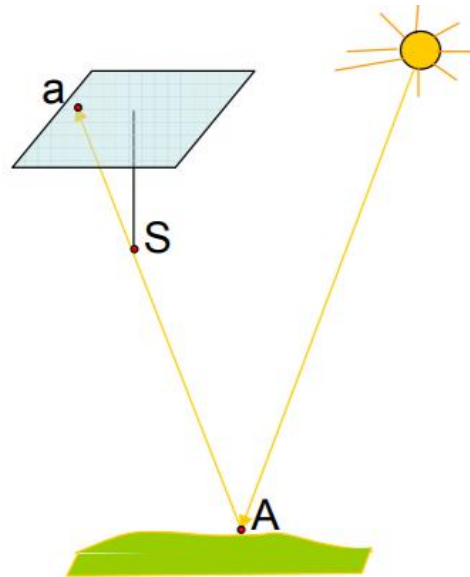
Esta disciplina implica varios tipos de tareas: compresión, restauración, segmentación o descripción de imágenes. La segunda de estas disciplinas es el reconocimiento de patrones, el análisis de imágenes por computador consigue la extracción automática de patrones característicos y su comparación con los de un diccionario. La otra de las disciplinas implicadas es la inteligencia artificial. Esta implica el estudio de técnicas que permiten a los computadores hacer aquellas cosas que actualmente las personas hacen mejor. Cuando estas técnicas se aplican en el mundo de la imagen se habla de visión por computador. Su principal objetivo es desarrollar descripciones de objetos a partir de sus imágenes. Los métodos de visión por computador se han ido incorporando cada vez más al método fotogramétrico, sobre todo en la automatización de tareas. De esta forma se reduce el trabajo del operador fotogramétrico, (Bejarano, 2013, p.15).

1.5.1 Método General de la fotogrametría.

Para explicar este tema se toma en cuenta la investigación de (Gómez, 2008, p. 8), ya que explica de una manera bastante didáctica y entendible, se afirma que el Método General de fotogrametría clásica se basa en el concepto de Haz Perspectivo (Gerbe Perspective), tanto en su formación y en su reconstrucción.

“Haz perspectivo es el conjunto de semirrectas que unen la superficie de un objeto tridimensional con un centro de proyección o punto de vista. Una imagen fotográfica es una forma de registro de un haz perspectivo”(Gómez, 2008, p. 8), también comenta que este método se articula en dos pasos, Ver (Figura 5).

Figura 5: Clasificación de fotogrametría



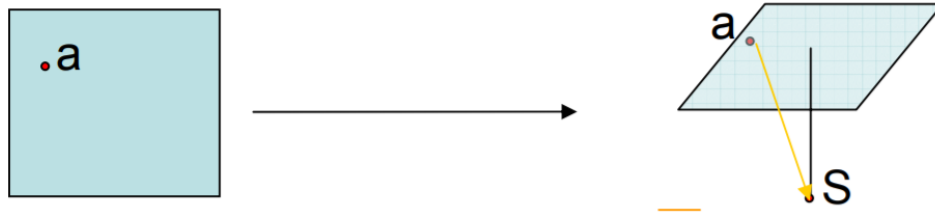
Fuente: (Gómez, 2008)

Proceso de toma fotográfica: El haz perspectivo queda registrado en la imagen fotográfica: en este proceso, cada rayo de luz procedente del objeto (A) atraviesa la lente de la cámara (punto de vista, S) y forma una imagen (registro del haz) sobre la película o cámara de tipo CCD (Charged Coupled Decive) situados en el plano focal (a).

1.5.2 Proceso de reconstrucción de la superficie del objeto: Una vez obtenida la imagen y dado un punto identificado sobre la misma (a), se trata de determinar (dar coordenadas) el punto correspondiente sobre la superficie del objeto. Este proceso se lleva a cabo a través de los siguientes cuatro pasos:

Orientación interna: Reconstrucción de la forma del haz perspectivo o lo que es lo misma reconstrucción de la cámara con la que se obtiene la imagen. El punto imagen a queda referido al punto de vista S , es decir, se determina el vector aS . Ver (Figura 6)

Figura 6: Orientación Interna



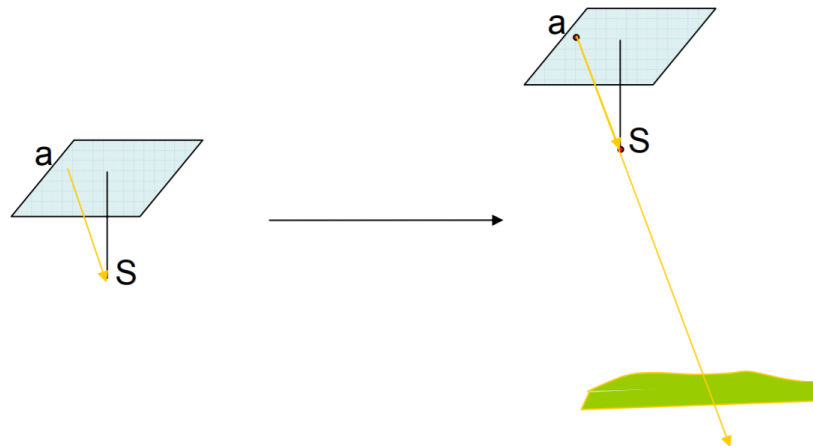
Fuente: (Gómez, 2008)

Orientación externa: Reconstrucción de la posición y orientación del haz perspectivo respecto del objeto. Esta reconstrucción puede hacerse en dos pasos:

Orientación Relativa: Los haces perspectivos (más de uno) se orientan entre sí.

Orientación Absoluta: Los haces perspectivos, una vez orientados entre sí, se sitúan respecto del objeto, Ver (Figura 7)

Figura 7: Orientación Absoluta



Fuente: (Gómez, 2008)

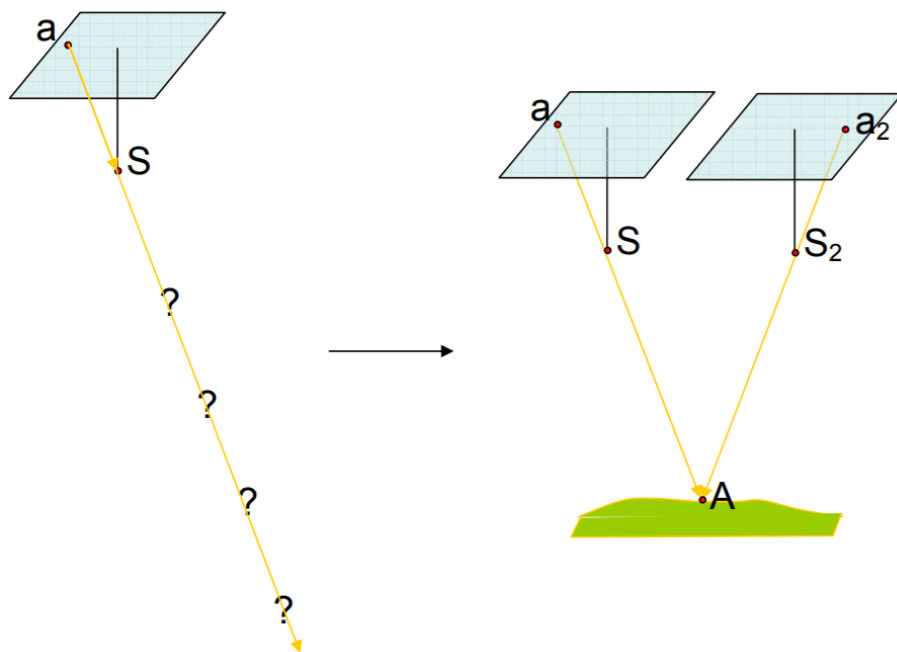
Identificación de rayos homólogos: Las orientaciones internas y externas del apartado anterior abren el camino a la reconstrucción del objeto pues a partir de este instante puede situarse la cámara en el espacio tridimensional en el momento en que se toma la imagen. De esta manera, el vector S_a , que puede reconstruirse tras la orientación interna, puede situarse en el espacio en relación con el objeto. ¿Sin embargo, esto no permite reconstruir el punto A, pues, aunque se sabe que este se encuentra sobre el vector aS , sin embargo, a qué distancia a lo largo del mismo se encuentra?

Ello lleva a la necesidad de emplear un segundo punto, homólogo del primero, situado sobre una segunda imagen. Si se ha llevado a efecto la orientación interna y la orientación externa de esta imagen, se verificará que el punto (objeto A) se encuentra simultáneamente sobre los dos vectores aS y a_2S_2 .

Tradicionalmente, la identificación de puntos homólogos se ha realizado mediante la visión estereoscópica con la ayuda de la marca flotante en un modelo libre de paralaje (orientado). De ahí, la importancia que este paso tiene en el conjunto del Método General de la Fotogrametría. Ver (Figura 8).

Representación del punto objeto: Una vez identificado los puntos homólogos queda tan sólo proceder a la representación del punto objeto, homólogo de los dos primeros. En la época analógica, este proceso era costoso pues implica desarrollar sofisticados procedimientos de transmisión mecánica desde el restituidor propiamente dicho a la mesa de dibujo. En la etapa digital, se trata de un proceso trivial pues las rectas aS y a_2S_2 han quedado determinadas en el paso anterior y tan sólo resta calcular la intersección de las mismas para obtener las coordenadas 3D del punto buscado.

Figura 8: Método General de Fotogrametría Convencional



Fuente: (Gómez, 2008)

Método pos-procesó: En nuestro caso de fotogrametría analítica y digital, se trata de aplicar unos determinados procesamiento numéricos a unos datos de entrada (input) para obtener los datos de salida (output). Esos procesamiento numéricos se articulan en torno a las orientaciones.

Así la Orientación Interna puede considerarse como el proceso que permite transformar las coordenadas instrumentales en foto-coordenadas.

La orientación relativa, el que permite transformar las foto-coordenadas en coordenadas modelo; La orientación absoluta, el que permite transformar las coordenadas modelo en coordenadas terreno; la orientación externa, el que permite transformar las foto-coordenadas en coordenadas terreno; finalmente el proceso de auto-calibración es el que los abarca a todos ellos contemplando la transformación global desde las coordenadas instrumentales a las coordenadas terreno. (Gómez, 2008, p. 7-15)

No se profundiza en la metodología convencional ya que no es el fin de este trabajo, pero si se intenta que se pueda entender la parte fundamental y el problema de los procesos fotogramétrico.

Esta investigación se realiza a través de cámaras digitales colocadas en los drones de tipo cuadricopteros, con los que se puede obtener las fotografías verticales y oblicuas necesarias para luego usar dos programas de fotogrametría cotizados últimamente como el software Agisoft Photoscan y Pix4d Mapper, estos softwares proceden del campo de Visión Computacional y son capaces de recopilar imágenes no estructuradas y luego de ser procesadas, pueden presentar modelación en tres dimensiones a detalle de cualquier objeto físico.

Este tipo de tecnología ha avanzado a pasos agigantados por lo que, para realizar fotogrametría es necesario dos puntos importantes.

- Imágenes captadas desde cualquier tipo de cámara.
- Uso de sensores analógicos / Digitales.

Estos softwares llevan consigo algoritmos que pueden generar nubes densas de puntos, además de generar mallas a color que son los procesos necesarios para recrear una zona de inestabilidad en alta calidad para usarlo como una herramienta al momento de estudio.

La calidad fotogramétrica esperada es condicionada en este caso por el nivel de resolución de la imagen, ya que la resolución depende del tamaño del pixel, esto quiere decir, que mientras menor sea el tamaño de pixel, mayor resolución en el proyecto obtendremos, además que con la ayuda de los softwares se pueden mejorar estos detalles, ya que se realiza procesos de restitución a través de tecnología visión computacional que ayudan a obtener una resolución mucho más precisa.

- **CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGRAMETRÍA:**

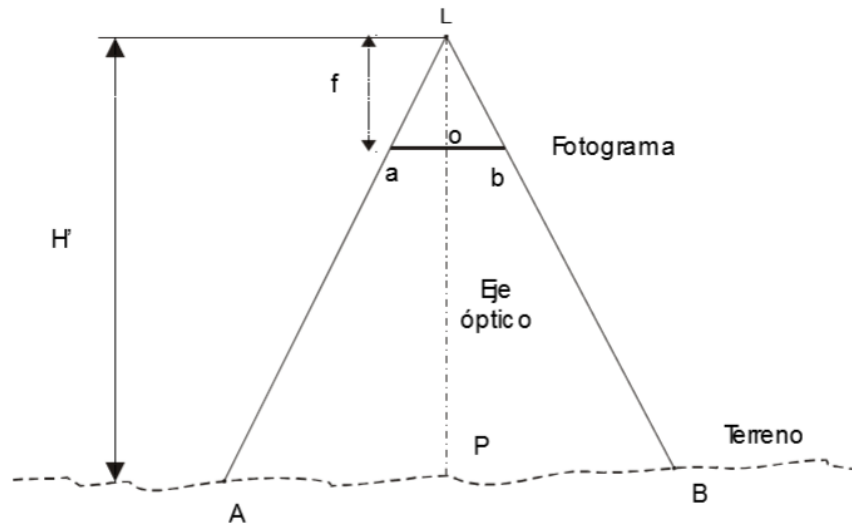
Fotogramas:

Un fotograma es una vista aérea en la que además de las señales que permiten determinar su centro, se impresiona en los bordes, mediante signos o abreviaturas convencionales, diversos datos que incumben conocer para su utilización posterior, como son; distancia focal, posición del nivel, altura de vuelo, hora en que se ha tomado la vista, número de orden de la fotografía, etc. (Orellana, 2006, p. 16).

Escala:

En el caso de fotografía aérea se puede definir a la escala como una relación de la distancia de la fotografía y la distancia sobre el terreno, como dicho plano no será totalmente plano por las irregularidades de la zona, la escala varía según las elevaciones, solo será regular en un plano horizontal de referencia, a través del cual se defina la escala, (Otero et al., 2008, p.13-14).

Figura 9: ESCALA DE FOTOGRAFÍA AÉREA SOBRE TERRENO LLANO



Fuente: (Otero et al., 2008)

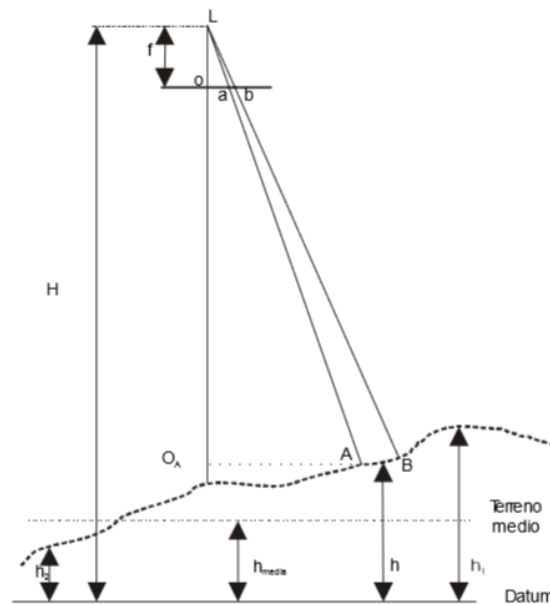
Como comentamos anteriormente la escala es relacionada con la distancia focal del sensor (cámara) y la altura del UAV sobre la zona.

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f}{H} = \frac{l}{E} = \text{Escala de la fotografía}$$

E= Módulo de la escala.

En el caso de que la zona no sea plana y tenga irregularidades el UAV tendrá menores elevaciones en relación al terreno en las partes altas de la zona, por lo tanto, las escalas aumentaran con referencia a las partes bajas donde el aparato se encontrara más alto, y las escalas serán más pequeñas, cuando esto sucede los softwares de fotogrametría detectan este cambio como un error, y generan ortofotos, con agujeros oscuros. Ver (figura 10)

Figura 10: ESCALA DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA SOBRE TERRENO VARIABLE



Fuente: (Otero et al., 2008)

En este caso la escala vendrá dada por:

$$\frac{l}{E} = \frac{f}{H-h}$$

Altura de vuelo:

Simplemente definiremos a la altura de vuelo como la distancia que existe desde el sensor (centro del lente) que se encuentra colocado en la plataforma del UAV hacia la zona fotografiada.

Base Aérea:

Podemos definir a base aérea como la distancia entre fotografías tomadas sucesivamente.

Pixel: Un píxel, plural píxeles (acrónimo del inglés picture element), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital”. (Salvador, 2016, p 58)

El aparato UAV durante su vuelo, realiza un recorrido, el mismo que permite obtener fotografías consecutivas con un tiempo entre la captura de ellas, esto da paso a que exista un solape o recubrimiento longitudinal, el mismo que podríamos planificarlo si se desea con anticipación.

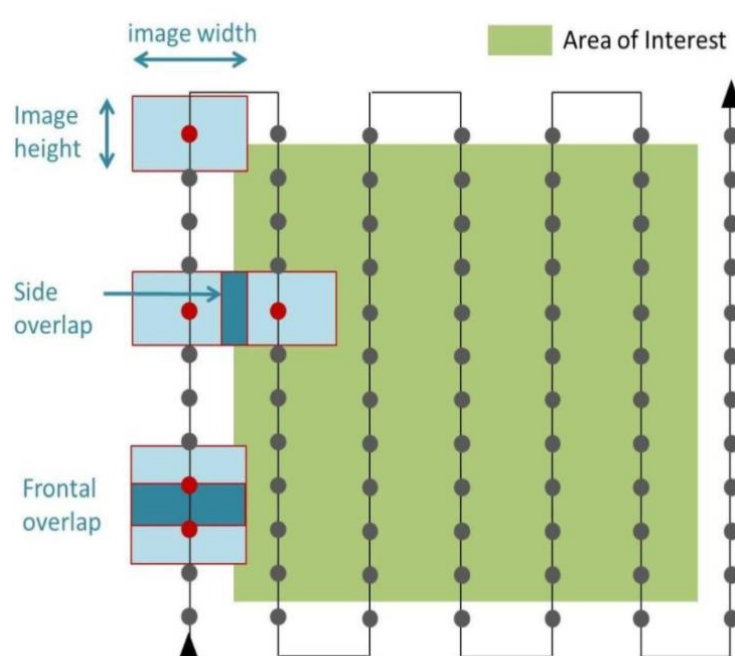
1.5.3 Solape Longitudinal:

El Solape Longitudinal llamado también Solape Frontal, es muy importante antes de realizar un recorrido de vuelo ya que el software conseguirá a través de visión computacional, reconstruir la realidad tomando como base las fotografías, ver (figura 11), (Tabla 1).

1.5.4 Solape Transversal:

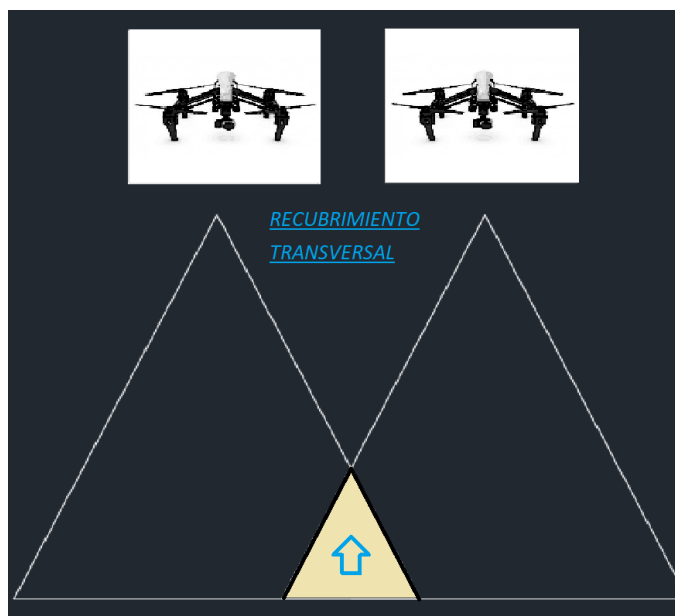
Llamado también Solape Lateral, debe generarse al momento de cada pasada, con el objetivo de unir las fotografías aéreas y de esta manera los softwares sean capaces a través de la tecnología de visión artificial y la unión de estos solapes, puedan encontrar puntos en común y emparejarlos entre imágenes, generar nube de puntos, reconstruir un modelo, además de generar una ortofoto. Ver (Figura 11-12), (Tabla 1).

Figura 11: SUPERPOSICIÓN DE TRASLAPE PARA FOTOGRAMETRÍA



Fuente: (ICGeo & Ingeniería Civil Y Geología, n.d.)

Figura 12: SUPERPOSICIÓN RECUBRIMIENTO TRANSVERSAL LATERAL



Nota: Vista en elevación de vuelo.

Tabla 1: Valores orientativos de solape según tipo de terreno

Tipo de terreno	Recubrimiento %	
	<u>Longitudinal</u>	<u>Transversal</u>
Llano	60	25
Ondulado	65-70	25-30
Montañoso	70-80	30-35

Nota: Pliegos de prescripciones técnicas para la ejecución de trabajos fotogramétricos: Dirección general de Obras Hidráulicas. Ministerio de fomento. Fuente: (Otero et al., 2008,p. 19)

Estos valores orientativos varían mucho según el tipo de proyecto, zona y propósito fotogramétrico, en este caso, se requiere obtener una modelación 3d, que satisfaga el propósito del proyecto, además de obtener una cartografía precisa del lugar; Luego de haber realizado múltiples pruebas y procesamientos, donde se escogió los resultados más favorables para terrenos montañosos.

Estos recubrimientos longitudinales deben estar entre 75-80 % y el solape transversal entre 65-70%, estos ensayos fueron realizado a una altura de 122 m o 400 pies, que es la altura máxima permitida según el reglamento de la Dirección General de Aviación Civil en Ecuador, cabe recalcar que en Colombia según el reglamento No. 002 de la Aeronáutica Civil publicado el 3 de febrero del 2015, nos permite realizar vuelos de UAV con las siguientes reglas:

1. Licencia de piloto privado con curso en tierra que dura unos 6 meses.
2. 40 Horas de vuelo y 200 despegues y aterrizajes, previos, certificados por la escuela de aviación.
3. Identificación y matrícula del dron.
4. Póliza de seguro para daños a terceros.
5. Solicitud con plan de vuelo ante la Aeronáutica Civil con 15 días hábiles de anticipación.
6. El dron debe tener un color que permita ser identificado fácilmente en el aire.

En Colombia no se pueden volar drones que tengan un peso mayor a 25 kg y cuenten con hélices de metal, además, ningún aparato UAV, puede volar dentro de un radio de 1.8 kilómetros del Presidente, Vicepresidente o de cualquier autoridad internacional.

Igualmente, el reglamento hace claridad en las distancias de vuelo permitidas:

- Altura máxima: 152 metros
- Altura mínima de un objeto: 50 metros
- Distancia máxima recorrida: 750 metros. (Aeronáutica Civil, 2015)

De la misma manera aparatos voladores que no consten con Gps no son aceptados por la ley y tampoco se podrá realizar vuelos en lugares donde exista aglomeración de personas, como desfiles, conciertos, etc., estas reglas no son las únicas, pero si las más importantes según el ámbito de la investigación.

REALIDAD AUMENTADA COMO HERRAMIENTA TECNOLÓGICA

○ ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La realidad aumentada (RA) consiste en combinar la visión de un entorno real con el virtual mediante un proceso informático. La “RA” es una tecnología relativamente nueva nos comenta (Hernández & Santos, 2015), la misma que pertenece a la tecnología virtual que al combinar con imágenes virtuales se crea la posibilidad de que el usuario pueda interactuar con objetos en tiempo real.

Aunque la tecnología es nueva su termino tiene que ver con algunos inventos fabricados por el hombre años atrás, pues en la época de los años 70 nace una tecnología que quería experimentar en el mundo virtual, su termino fue acuñado por el investigador de Boeing Tom Caudell en 1990, el mismo que estaba implicado en los desarrollos que su compañía realizaba para mejorar sus procesos de fabricación, donde se usaba un software para desplegar los planos de cableado sobre las piezas producidas, aquello no quiere decir que antes no había avances sobre la tecnología, pues en 1957, Morton Heilig, filósofo mas conocido como realizador de cine, comienza a investigar y construir un equipo muy similar a las maquinas de juegos de los años 90, dicho equipo fue llamado Sensorama, este permitía visualizar imágenes 3D, además tenía implementado dispositivos de audio lo que provocaba un sonido envolvente que hacia vibrar a la silla y creaba viento lanzando aire al espectador, desde la creación de este aparato Heilig es considerado el padre de esta tecnología nos comenta (Bejerano G, 2014).

- **Tipos de dispositivos de Realidad Aumentada**

En el siglo XXI la realidad aumentada se ha encontrado en un periodo de auge permitiendo gracias a los avances tecnológicos ir creando esta tecnología en tres tipos de dispositivos diferentes:

1. Realidad Aumentada en ordenadores personales.

“Entre el año 2006 y 2008, gracias al mundo de los video juegos y a la mejora de las capacidades computacionales de ordenadores y tarjetas gráficas, resultó posible confeccionar experiencias de realidad aumentada de una gran calidad. Las máquinas eran capaces de mover escenas tridimensionales de más de 100.000 polígonos al mismo tiempo que se realizaba el tracking de los elementos visuales. Fueron muy populares en esos años las aplicaciones de marketing, tanto en punto de venta y eventos on stage, como integradas en páginas Web. Aparecieron en el mercado las primeras herramientas de programación de realidad aumentada de alto nivel (D’Fusion de Total Immersion o Metaio SDK) y proliferaron las empresas especializadas en este campo.” (Innovae, 2018)

2. Realidad Aumentada en smartphones:

“La revolución social y tecnológica provocada unos años más tarde por el visionario Steve Jobs con la invención de los Smartphone, actuó como catalizador en el desarrollo de la realidad aumentada. Los Smartphone y posteriormente también las tabletas, permitían a los usuarios disfrutar de las experiencias de realidad aumentada de forma inmediata. Proliferaron aplicaciones vinculadas a revistas, catálogos o carteles publicitarios. También aparecieron las primeras Apps en el sector turístico que vinculaban información de internet a una capa superpuesta a la cámara del móvil, en función de la orientación y la localización de un usuario”,

las primeras aplicaciones que funcionaron en estos dispositivos se denominaron Wikitude o Layar. (Innovae, 2018)

3. Realidad Aumentada en gafas y visores.

“En la actualidad estamos viviendo la siguiente revolución de la tecnología de realidad aumentada gracias al empujón mediático que Google propició para sus gafas de realidad aumentada. Aunque todavía los dispositivos que existen en el mercado son un tanto toscos y la experiencia visual es muy mejorable, ya se intuyen numerosas aplicaciones y negocios en nuevos ámbitos como la formación profesional, la educación y el ocio digital”. (Innovae, 2018)

Podemos mencionar que gracias a estos avances tecnológicos la “RA” nos permite añadir información adicional y características virtuales a nuestra realidad, en nuestro caso de Estabilidad y Deslizamientos esta ciencia permite al Ingeniero entender mejor el entorno de la zona en estudio, además permite interactuar con algunas características particulares de la realidad, este tipo de experiencia interactiva y digital es una manera en la que los ingenieros puedan ampliar el mundo real, además que se puede ahorrar tiempo, recursos, y podemos averiguar los posibles problemas a los que nos encontraremos antes de que iniciemos el proyecto. La obtención de fotografías digitales mediante UAV y RA es la combinación perfecta ya que se puede representar la zona de estudio de forma visual consiguiendo mayores aplicaciones interactivas y la combinación de objetos reales con otros virtuales, a través de monitores de alta resolución los ingenieros podrían realizar reuniones, planes de trabajo a una escala de visualización perfecta para dichos análisis.

CAPITULO III

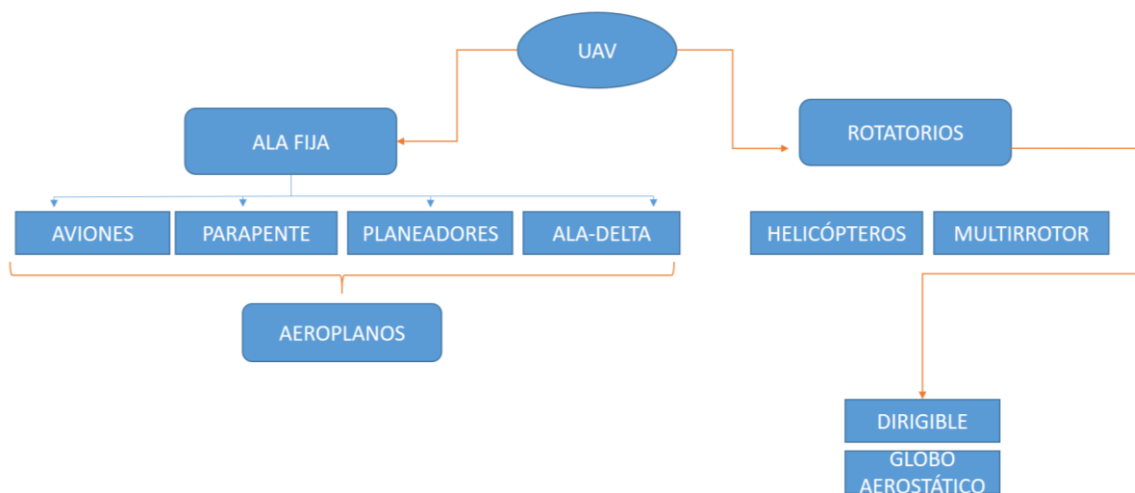
TIPOS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

○ CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS

Al momento de clasificar estos sistemas no tripulados dejando a un lado su aplicación, se puede clasificar en una de las maneras más simples:

- ✓ **Según su aerodinámica**, estando entre las principales los denominados ala fija y rotatorios. Ver (Figura13).

Figura 12: CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS SEGÚN SU AERODINÁMICA



Nota: Esta clasificación se caracteriza además de su aerodinámica por la forma despegue de estos aparatos.

Dentro de las aplicaciones ingenieriles de grandes hectáreas, se trabaja en mayor cantidad con aparatos ala fija y multirrotores que se pueden clasificar de esta manera:

○ SISTEMA DE AERONAVE TIPO ALA FIJA.

Este tipo de aparatos voladores son usados cuando se trata de obtener información de grandes extensiones de terreno, ya que su diseño aerodinámico les proporciona a estos equipos velocidad

en cada vuelo y son capaces llevar de una manera más fácil cualquier tipo de sensor (cámara); Estos pueden se pueden clasificar de la siguiente manera, según su aerodinámica:

ALA ALTA: Su característica principal es su ala, ya que se encuentra ubicada en la parte superior de su fuselaje, lo cual le proporciona una mejor aerodinámica que ayuda a su estabilidad al momento de volar, Ver (figura 14).

Figura 13: Aparato volador de tipo Ala Alta



Nota: La aeronave F300 es un avión de ala fija para operaciones multifuncionales, Enbention,2018;

Recuperado: <https://products.enbention.com/nmand-rpas-uas/f300-ala-fija?store=spanish>

ALA MEDIA: Se caracteriza por tener sus alas ubicadas en la mitad de su fuselaje.

Figura 14: APARATO VOLADOR DE TIPO ALA MEDIA



Fuente: (Santana, 2017)

ALA BAJA: De la misma manera es parte de la aerodinámica del aparato volador al estar ubicada su ala en la parte baja de su fuselaje.

Figura 15: APARATO VOLADOR DE TIPO ALA BAJA



Fuente: (Morocho, 2014)

ALA VOLANTE: Este tipo de aparatos voladores son los más solicitados al momento de realizar trabajos en el ámbito de la ingeniería, ya que se caracterizan por ser más livianos y pequeños, su característica principal son sus alas ya que se encuentra a lo largo de su fuselaje.

Figura 16: Aparato Volador de tipo Ala Volante



Nota: UAV de mapeo completamente autónomo y fácil de usar. Sensyfly,2018. Recuperado:

<https://www.sensfly.com/drone/ebec-mapping-drone/>

Estos sistemas de ala fija tienen muchas ventajas y desventajas al momento de realizar sus vuelos con respecto a los rotatorios, las más importantes son: ver (Figura 17).

Figura 17: VENTAJAS Y DESVENTAJAS ALA FIJA VS ROTATORIOS

UAV ALA FIJA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Atonomía de vuelo: Sus baterías son capaces de volar por mucho mas tiempo, entre 40 y 120 minutos.	Se requiere de mayor tiempo de entrenamiento ya que son mas difíciles de pilotar.
Mayor alcance y altura de vuelo	Necesita de un espacio de mínimo 50 m de radio para despegar y aterrizar sin problemas.
Mayor velocidad en vuelo	
Su aerodinámica hace que sea un aparato mas seguro de volar.	Sus componentes son mas complejos.
Estructura simple	Su despegue es asistido por una persona o necesita de un riel lanzador.
Livianos y faciles de guardar	No pueden realizar un vuelo estático suspendido.
Realiza toma de datos en menor tiempo	Son mas costosos

○ SISTEMA DE AERONAVE ROTATORIO

Este tipo de aparatos se caracterizan por contar con motores y hélices en vez de alas, este sistema de propulsión permite a estos dispositivos tener mayor estabilidad en vuelo, además de poder realizar vuelos estacionarios a cualquier altura.

Estos aparatos se pueden subdividir según su número de rotores:

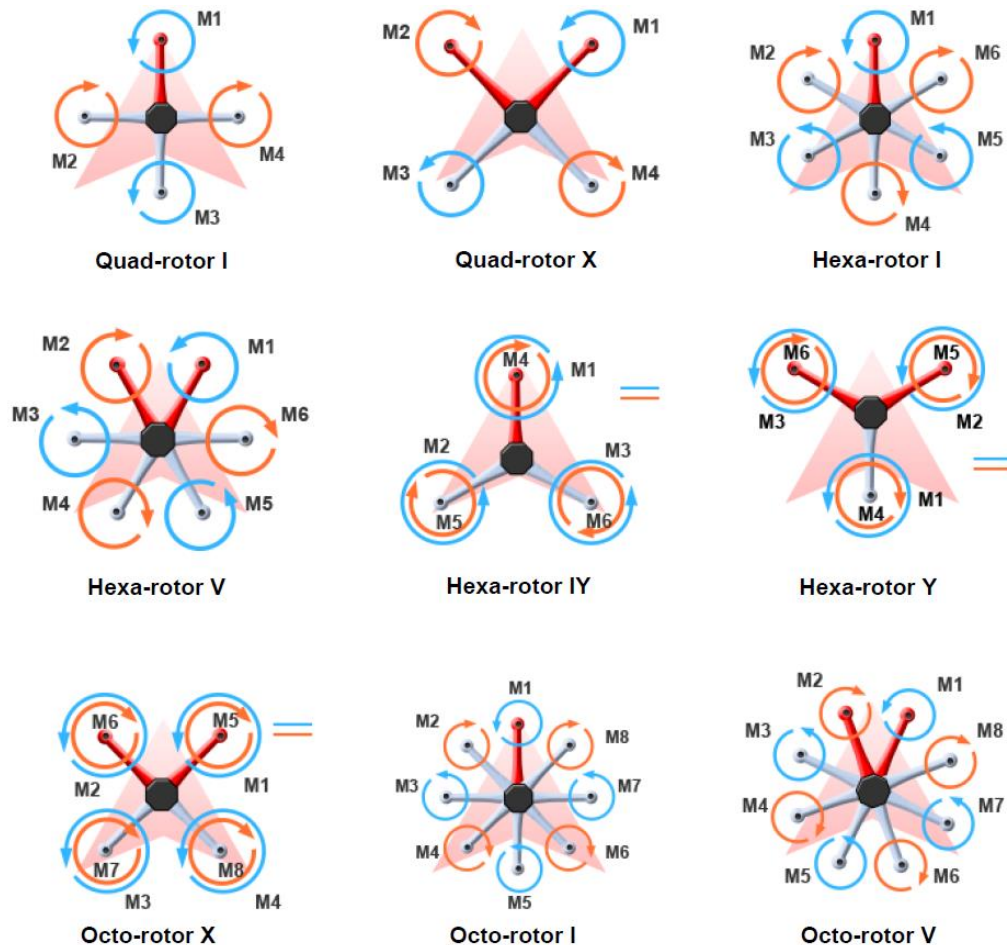
TRICOPTEROS: Aparatos que constan de tres motores que son necesarias para volar al generar sustentación necesaria para su vuelo.

CUADRICOPTEROS Y OCTOCOPTEROS: Aparatos con cuatro y ocho motores necesarios para su propulsión, en el caso de un solo motor tenemos a los helicópteros, los multirrotores se caracterizan por tener hélices de paso fijo (ángulo fijo).

Este tipo de aeronaves mecánicas son de fácil fabricación, además son fáciles de maniobrar y su costo es mucho menor que el de un ala Fija profesional, cabe recalcar que existen rotoreros,

estos pueden constar con más de ocho motores, estos tipos de multirrotores no son comerciales, y pueden llegar a tener mayor autonomía que un ala fija. Ver (Figura 18)

Figura 18: Clasificación aeronaves de tipo Rotor



Nota: Aparatos no tripulados rotores, (“Aeronavegabilidad y Clasificación de Drones Drones y Rpas. Curso Piloto y Permisos.”

2016). **Recuperado:** <http://www.miprimerdron.com/aeronavegabilidad-y-clasificacion-drones/>

Para este estudio, se decidió realizar toda la investigación con aparatos multirrotores de tipo cuadricopteros, ya que son los aparatos que se aconseja llevar a campo en caso de realizar una investigación de tipo Geotécnica, como lo son el análisis y estudio de estadidad de taludes y laderas, por las siguientes ventajas con respecto a los aparatos de ala fija: Ver figura (19-20)

Figura 19: VENTAJAS Y DESVENTAJAS ALA FIJA VS ROTATORIOS

UAV ROTATORIOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mayor maniobrabilidad, fáciles de usar.	Autonomia limitada, los vuelos pueden variar entre 15 y 35 minutos.
Son mas económicos.	
Despegue y aterrizaje en espacios reducidos.	Es bastante ruidoso.
Vuelo estatico y supendido a cualquier altura.	No es tan aerodinámico como un ala fija
Menor tiempo de entrenamiento.	Menor alcance
Menor riesgo de tomas desenfocadas o con distorsión	Toma de datos en mayor tiempo.
Son aceptados como equipaje por su peso y precio, en el caso de tricopteros y cuadricopteros.	Si usamos a velocidad la durabilidad de las baterias baja.
Podemos usarlos en otras aplicaciones ingenieriles.	No es posible que vuele en lluvia.

Figura 20: APARATO MULTIRROTOR: TIPO CUADRICOPTERO

Nota: Cuadricoptero de la marca Dji (Inspire 1) es el usado en esta investigación.

Como se observa anteriormente, este tipo de aparatos tienen sus ventajas y desventajas dependiendo del proyecto a realizar. Para esta Investigación se elige un dispositivo multirrotor de bajo costo, de la marca Dji, este dispositivo se denomina Inspire 1, el cual consta con un Gps de precisión métrica de la marca Garmin (Fenix \pm 1m de precisión), se eligió este equipo por su robustez y potencia para volar en zonas de difícil acceso y vientos fuertes, este tipo de aparato

volador se caracteriza por su estabilidad, ya que cuenta con motores muy potentes y su aerodinámica es muy compacta, pues consta con un avanzado sistema de basculación entre el cuerpo y los motores, gracias a este sistema la cámara se encuentra en una posición inmejorable y evita que tanto las patas u hélices obstaculicen las grabaciones o fotografías, de esta manera es capaz de fotografiar la zona a 360°.

El Inspire 1 es fácil de adquirirlo y sencillo de operar ya que no requiere de mucha práctica, el sistema lightbridge con el que consta, permite controlar el UAV y ver todo lo que captura la cámara desde un Smartphone o Tablet, es capaz de volar a altas velocidades, sin que las fotografías se muevan o se encuentren desenfocadas, esto gracias a un gimbal que sujeta la cámara, el mismo que hace que la cámara se encuentre estable en todo momento durante el vuelo.

Cabe recalcar que este aparato también tiene sus desventajas y la más importante es su autonomía de vuelo, este aparato volador solo tiene una autonomía de máximo 18 minutos de vuelo, en vientos fuertes su autonomía puede bajar hasta los 10 minutos de vuelo, ya que, al encontrarse con vientos fuertes, el aparato intenta estabilizarse en todo momento, al contrario de los UAV de tipo ala fija, que son capaces de planear y apagar sus motores en vuelo con el fin de ahorrar batería, por otro lado, al momento de volar uno de los motores del mismo falla, tendremos pérdida total del aparato, si este colisiona con un pájaro, cables de red o cualquier objeto, puede ocasionar daños irreparables en él y al caer daños a terceros por su gran tamaño, para más características del Inspire 1. Ver detalle de sus características Inspire 1, (Figura 21).

Aplicaciones importantes que servirán para realizar investigación sobre la zona, ala fija vs Multirroto, Ver (figura 22).

Figura 21: CARACTERÍSTICAS UAV INSPIRE 1/ DJI

AERONAVE INSPIRE 1 - DJI		GIMBAL	
Modelo	T600	Modelo	ZENMUSE X3
Peso	6.27 lbs (2845 g, incluidas hélices y batería, sin cardán y cámara)	Rango de vibración angular	± 0.03 °
	6.74 lbs (3060 g, incluidas hélices, batería y Zenmuse X3)	Tipo de interfaz	Desmontable
Velocidad angular máxima	Paso: 300 ° / s	Rango controlable	Paso: -90 ° a + 30 °
	Guiñada: 150 ° / s		Pan: ± 320 °
Ángulo máximo de inclinación	35 °	Rango Mecánico	Paso: -125 ° a + 45 °
Velocidad máxima de ascenso	16.4 pies / s (5 m / s)		Pan: ± 330 °
Velocidad máxima de descenso	13.1 pies / s (4 m / s)	Velocidad máxima controlable	Paso: 120 ° / s
Máxima velocidad	49 mph o 79 kph (modo ATTI, sin viento)		Pan: 180 ° / s
Nivel Máximo de Despegue del Mar	1.55 mi (2500 m)	CÁMARA	
	2.8 mi (4500 m con hélice especialmente diseñada)	Nombre	X3
Resistencia a la velocidad máxima del viento	10 m / s	Modelo	FC350
Tiempo de vuelo máximo	Aprox. 18 minutos	Píxeles totales	12.76 millones
Modelo de motor	DJI 3510H	Píxeles efectivos	12.4M
Modelo de hélice	DJI 1345T	Tamaño máximo de la imagen	4000x3000
Hovering de interior	Habilitado por defecto	Velocidad de bits máxima de almacenamiento de	60 Mbps
Temperatura de funcionamiento	14 ° a 104 ° F (-10 ° a 40 ° C)	Formatos de archivo soportados	FAT32 / exFAT
CARGADOR			Foto: JPEG, DNG
Modelo	A14-100P1A		Video: MP4 / MOV (MPEG-4 AVC / H.264)
voltaje	26.3 V	Rango de temperatura de funcionamiento	0 ° a 40 ° C
BATERÍA (ESTÁNDAR)		SISTEMA DE VISIÓN HACIA ABAJO	
Nombre	Batería de vuelo inteligente	Rango de velocidad	<26.2 pies / s (8 m / s) a una altura de 6.56 pies (2 m)
Modelo	TB47	Rango de altitud	5-500 cm
Capacidad	4500 mAh	Entorno operativo	Superficies con patrones claros e iluminación adecuada (> 15 lux)
voltaje	22.2 V	Rango de operación	<9,8 pies (3 m)
Tipo de Batería	LiPo 6S	Rango de funcionamiento del sensor ultrasónico	0.17-16.4 pies (5-500 cm)
Energía	99.9 Wh	Entorno de funcionamiento del sensor ultrasónico	Material no absorbente, superficie rígida (las alfombras interiores gruesas reducirán el rendimiento)
Peso neto	570 g	APP	
Temperatura de funcionamiento	14 ° a 104 ° F (-10 ° a 40 ° C)	Nombre	DJI GO
Temperatura de almacenamiento	Menos de 3 meses: -4 ° a 113 ° F (-20 ° a 45 ° C)	Requisitos del sistema de dispositivo móvil	iOS 8.0 o posterior, Android 4.1.2 o posterior
	Más de 3 meses: 72 ° a 82 ° F (22 ° a 28 ° C)		6, iPhone 6 Plus, iPhone 6s, iPhone 6s Plus, iPhone 7, iPhone
Temperatura de carga	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)	Dispositivos móviles compatibles	7 Plus, iPod touch 6, iPad Pro, iPad Air, iPad
Potencia máxima de carga	180 W		Air Wi-Fi + Celular, iPad mini 2, iPad mini 2 Wi-

Nota: Detalle y características Inspire 1. Dji,2018. Recuperado: <https://www.dji.com/inspire-1/info>

Tabla 2: Comparativa de tipos drones, precios y características



Tabla 2: Costos y características de los UAVs más populares del mercado.

Name	DJI Phantom 4	DJI Inspire 1	DJI Phantom 3 Professional	DJI Phantom 3 Standard	DJI Mavic Pro	DJI Phantom 3 4K	DJI Phantom 3 Advanced	3D Robotics Solo	Horizon Hobby Blade Chroma With CGO3 4K Camera	Parrot Bebop
										
Lowest Price	\$1,099.00 Amazon	\$1,949.99 Amazon	\$999.00 Amazon	\$499.99 Best Buy	\$999.00 Amazon	\$634.95 Amazon	\$741.00 Amazon	\$338.99 Amazon	\$1199.99 MSRP	\$199.00 Amazon
	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT		SEE IT
Editor Rating	●●●●● EG	●●●●● EG	●●●●● EG	●●●●● EG	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Dimensions	7 x 11.5 x 11.5 inches	17.2 x 17.8 x 11.9 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	3.3 x 3.3 x 7.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	10 x 18 x 18 inches	9.5 x 15.7 x 15.7 inches	1.4 x 11 x 12.6 inches
Weight	3 lb	6.5 lb	2.8 lb	2.7 lb	1.6 lb	2.7 lb	2.8 lb	4 lb	2.9 lb	14.1 oz
Number of Rotors	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Camera Type	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Gimbal Mount for GoPro	Integrated with Gimbal	Integrated without Gimbal
Video Resolution	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 4K	720p, 1080p, 4K	720p, 1080p, 2.7K	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 2.7K		720p, 1080p, 4K	1080p
Megapixels	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP		12 MP	14 MP
Media Format	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC		microSD, microSDHC, microSDXC	Internal
Remote Control Type	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with LCD	Smartphone/Tablet App
Live Video Feed	720p	720p	720p	Yes	720p	Yes	720p	720p	Yes	Yes
Automated Flight Features	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Follow	Return-to-Home, Waypoint

Nota: Diferentes multirrotores de bajo costo con sus especificaciones físicas y características mecánicas.

Recuperado: (Vázquez, A, & Pohls, 2017)

Figura 22: APLICACIONES DE UAV, ROTATORIOS VS ALA FIJA

<div> <div>UAV</div> <div>ROTATORIOS VS ALA FIJA</div> </div> <div>   </div>		
Audiovisual	√	x
Fotogrametría	√	√
Inspección de la zona	√	x
Vigilancia de estructuras	√	x
Rescate a través de cámaras multiespectrales	√	√
Fotografías aéreas oblicuas	√	x

Nota: Se nota que los aparatos multirrotores en este tipo de análisis de inestabilidad de taludes y laderas son más conveniente usarlos.

○ MODOS DE OPERACIÓN

Los UAV tienen cuatro tipos de modos de vuelo, los mismos que son controlados desde un mando o un computador de forma remota, según (López, 2015,p. 54) comenta que pueden existir modos intermedios, pero en realidad es una variación de estos cuatro principales:

Modo Manual: En este tipo de modo el operador es capaz de controlar el equipo desde un mando de tierra y controlar detalles como la velocidad, altura y dirección del UAV.

Modo Automático: Para colocar en marcha este modo, el piloto u operador debe antes planificar un plan de vuelo, el mismo que cuenta con los denominados (waypoints) en español “puntos de referencia”, que son los puntos que el aparato UAV deberá completar en vuelo por sí solo.

Este modo de vuelo permite al piloto tener el control desde su mando en tierra en todo momento y controlar velocidad, altura y dirección, además de cancelar el vuelo en este modo en cualquier instante.

Modo Asistido: Es muy parecido al modo de vuelo Manual, se diferencia, ya que el modo de vuelo del aparato UAV será capaz de estabilizarse por sí solo, y ayudar al piloto en la toma de decisión de una forma más controlada, en este modo, el piloto podrá controlar velocidad, altura y dirección.

Modo Autónomo: Este modo de vuelo al igual que el automático necesita un plan de vuelo de antemano, pero permitirá que el UAV realice todo el trabajo y regresará al punto de partida (Home). Al terminar o cuando exista alguna emergencia en vuelo, cabe recalcar que el piloto podrá cancelar cualquier tipo de vuelo en cualquier momento.

Para realizar el levantamiento cartográfico basado en fotogrametría a través de aparatos no tripulados, se puede usar cualquier método mencionado. En el caso de los aparatos rotatorios, dependiendo de la experiencia del piloto y tomando en cuenta los resultados que se espera de esta investigación, se realiza el vuelo en modo automático, con la idea que cualquier persona pueda realizar el levantamiento de la zona inestable.

Si se trata de aparatos de tipo Ala Fija se usa normalmente el método manual, esto significa que el operador o piloto deberá tener cierta experiencia en vuelo además de contar con personal que no pierda de vista el aparato (vuelo en línea de vista visual), también estos aparatos pueden volar en modo autónomo y realizar todo el procedimiento de toma de datos (fotografías) por si solos, como en el caso del aparato denominado Ebee plus rtk, que se menciona anteriormente, el detalle de estos aparatos de última tecnología es su alto costo, pero su efectividad es impresionante, estas diferencias tienen que ver con las características importantes que tienen estos aparatos, entre algunas tenemos :Ver (Tabla 3)

Tabla 3: CARACTERÍSTICAS ALA FIJA VS ALA ROTATORIA

CARACTERÍSTICA	ALA FIJA	MULTIRROTOR
Peso total	3,5 kg	3,5 kg
Carga de pago	1,0 kg	1,0 kg
Autonomía	2 h	40 min
Propulsión	Eléctrica	Eléctrica
Velocidad	50 km/h	40 km/h
Despegue	Catapulta	Vertical
Aterrizaje	En panza o paracaídas	Vertical
Máximo viento	15 m/s	10 m/s

Nota: Características importantes a tomar en cuenta, al momento de adquirir un aparato profesional UAV,

Fuente: (López, 2015, p. 57)

○ COMPONENTES PRINCIPALES DE UN APARATO

MULTIRROTOR:

Los aparatos multirrotores son conocidos por tener hélices y ser propulsados por motores, las partes más importantes de este tipo de aparatos son:

Marco o frames:

El Marco es la base del dispositivo su estructura, la misma que le da forma al aparato, esta debe ser suficientemente resistente para que en ella se instalen todas las demás partes, como motores, hélices, baterías, cableado en general, etc.

Figura 23: MARCOS DE APARATO MULTIRROTOR

Nota: Diseño de marcos para multirrotores, su estructura varía dependiendo del número de motores y demás componentes.

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Motores, Hélices y ESCs:

Son los componentes fundamentales para mantener al multirrotor en el aire. Los ESC (Electronic Speed Control) o Controladores de Velocidad Electrónicos regulan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia. Este giro está conectado a las hélices cuya rotación a alta velocidad genera la sustentación del multirrotor, (IINGE, 2018).

Figura 24: MOTORES, HÉLICES PARA APARATOS MULTIRROTORES

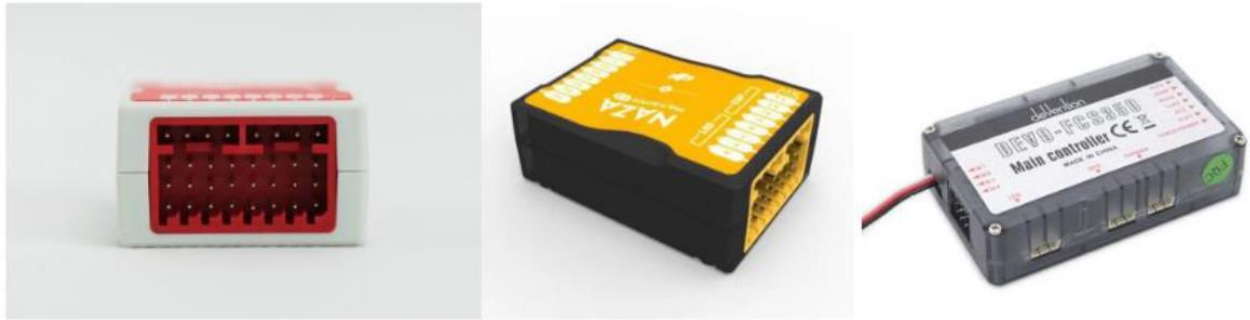


Nota: El tamaño de las hélices y motores, además de su capacidad, dependen del diseño y objetivo del aparato.

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Controlador de vuelo:

Este controlador se encuentra por lo general ubicado en la mitad de la base, ya que es ahí donde se unen los demás componentes. La importancia de este controlador es que es capaz de controlar el balanceo del UAV gracias al manejo de sus motores, este tipo de controlador también varía en tamaño y capacidad, según el número de motores y la potencia que tengan estos.

Figura 25: CONTROLADOR DE VUELO

Nota: Los controladores de vuelo pueden ser de diferentes fabricantes, pues depende de los motores y demás componentes.

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Radio Receptor:

Conocido también como mando es usado para fiscalizar el controlador de vuelo, estos se conectan a través de onda de radio que emite el Radio Receptor dando indicaciones al contralor de vuelo que transforma dicha señal en datos y se ejecute las instrucciones.

Figura 26: Radio Receptor

Nota: Estos también se pueden comunicar por ondas de wifi, aunque su alcance en vuelo sería menor

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Baterías: Las baterías siguen siendo un problema para este tipo de aparatos, estas pueden llegar a ser pesadas al tener una autonomía alta, por lo general las baterías son de Li-po (polímero de litio),

son las livianas y aunque no llegan a tener más de 30 minutos de autonomía en aparatos UAV de bajo costo, son la solución, son capaces de dar energía suficiente para su correcto funcionamiento.

Figura 27: BATERÍA DE LI-PO



Nota: La marca DJI usa baterías de Li-Po para proporcionar energía a todos sus aparatos.

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

GPS y Brújula:

Este tipo de componentes son usados en los drones para que se puedan estabilizar con facilidad puesto que pueden dar coordenadas x,y,z, y volar hasta cierto punto sin ningún inconveniente, los GPS pueden variar según la precisión deseada y el tipo de aparato, el GPS también pueden conectarse a las cámaras digitales para que estas puedan captar fotografía georreferenciadas, como se explicó anteriormente.

Figura 28: GPS, ANTENA; BRÚJULA



Nota: Si se desea se puede personalizar cualquier tipo de aparato con GPS de mayor precisión.

Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Cámara y Estabilizador:

En la estructura del multirrotor se puede acoplar una cámara para aprovechar el vuelo y capturar fotos desde el aire. Dependiendo del tamaño del multirrotor la cámara podrá ser desde una pesada profesional hasta una liviana cámara de acción, como una GoPro Hero o Sony Action Cam. Normalmente se utiliza un estabilizador o Gimbal para evitar que los movimientos propios del vuelo del multirrotor afecten las tomas. Estos gimbal absorben la vibración de los motores y corrigen automáticamente la inclinación de la cámara para que siempre esté en el mismo ángulo respecto al suelo. Algunos gimbal también pueden ser conectados al Controlador de Vuelo y a través del control remoto el usuario puede cambiar el ángulo de inclinación de la cámara mientras el multirrotor está en el aire. (IINGE, 2018)

Figura 29: CÁMARA Y ESTABILIZADOR

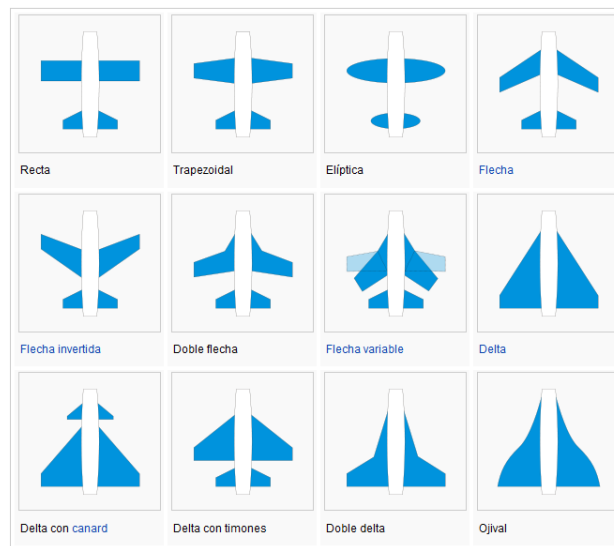


Fuente: (IINGE, 2018), Recuperado: http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

○ **COMPONENTES IMPORTANTES DE UN APARATO DE TIPO ALA FIJA:**

Cuando se habla de aparatos de ala fija su construcción es un poco más compleja y diferente, aunque algunos componentes pueden ser los mismos, este aparato de ala fija se puede dividir en 4 partes.

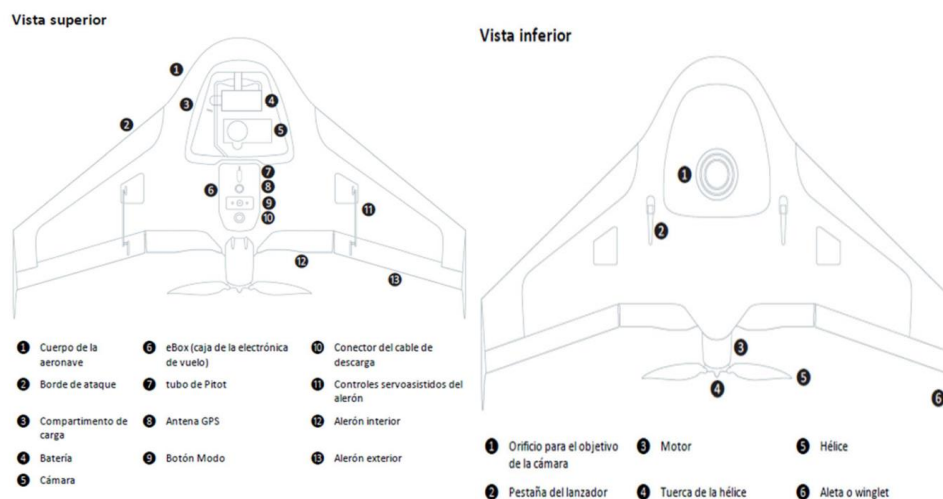
Alas: Las alas son unas de las partes más importante del diseño aerodinámico de UAV de este tipo, son las responsables de su sustentación y autonomía en vuelo. Los diseños de estos componentes son variados según el peso y tamaño, estos pueden ser fijos o reemplazables.

Figura 30: TIPOS DE ALAS PARA UAVS

Nota: Este tipo de alas son usados para drones de aeromodelismo, Recuperado: <http://diariodelaeromodelista.blogspot.com/p/ala-fijas.html>

Fuselaje:

Los fuselajes de estos aparatos deben ser fuertes y livianos de tal manera que no afecte al diseño de la aeronave, de hecho, el fuselaje es uno de los primeros componentes que se diseña al momento de armar este UAV de tipo ala fija.

Figura 31: Partes importantes de UAV de tipo Ala Fija

Nota: Tremble UX5 es sencillo debido a su resistente estructura y absorción de energía.

Fuente: (Coello Romero & Ballesteros Abellán, 2015, p. 28)

Baterías:

Las baterías pueden ser del mismo tamaño que las de un multirrotor con la misma autonomía incluso, pero varía mucho el tiempo de vuelo, ya que este aparato puede planear con el viento, aunque por lo general sus baterías son de mayor capacidad y peso.

Motores:

La tecnología actual de UAV de tipo de ala fija, los permiten diseñarlos para tener uno o dos motores, para que estos puedan llegar a la altura deseada, además, son los responsables de reducir o aumentar su velocidad y controlar su maniobrabilidad.

En la actualidad son lanzados manualmente o con riel de velocidad, también los motores ayudan a aterrizar la nave, estos aterrizan de panza y necesitan reducir la velocidad de llegada, para tener un aterrizaje ligero y no en picada. Los motores son livianos y pequeños al igual que la estructura de toda la aeronave.

Figura 32: ALA FIJA CON MOTOR ROTATORIO PARA SU SUSTENTACIÓN



Nota: Aeronave Ebee plus de la marca Sensefly, autonomía de vuelo de 56 minutos

Recuperado: <http://www.icgeo.org/2018/01/es-mejor-un-drone-ala-fija-o-multirotor.html>

○ **APLICACIONES DE LOS UAV EN INGENIERÍA EN LA ACTUALIDAD:**

Como se menciona dentro de la investigación los drones son de fácil manejo y adquisición lo cual se ha aprovechado las diferentes aplicaciones a la ingeniería, con el fin de mejorar los trabajos, investigaciones y mitigaciones de proyectos, las principales aplicaciones son las siguientes:

- Aplicaciones al control de calidad del aire.
- Aplicaciones cartográficas: Mediante la creación de mapas catastrales a través de la digitalización de las ortofotografías georreferenciadas.
- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales.
- Aplicaciones hidrológicas.
- Aplicaciones en agricultura: Como identificación de tipos de cultivo, recuento de plantas, medición del índice de área foliar, identificación de tipos de suelo y humedad de suelo, medición de la altura de la planta, control de deficiencias de nitrógeno, estimación de la biomasa, etc.
- Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos.
- Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural.
- Aplicaciones urbanísticas. (Salvador, 2016, p. 70)
- Inspección de infraestructura: sobre todo, inspecciones de torres eléctricas.
- Geomática.
- Fotografía Aérea: Una perspectiva diferente de ver los problemas en ingeniería.
- Agricultura de precisión: Con cámaras espectrales.
- Mantenimiento de parques eólicos.
- Control Medio ambiental.

1.5.5 BENEFICIOS DE USAR APARATOS UAV

Los beneficios más importantes se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Reducción del tiempo de trabajo en campo.
- Aumento de eficacia en el acopio de información: se puede tener mucha información en corto tiempo.
- Mejor relación Costo-Calidad: realizar proyectos con aparatos UAV reduce el costo y su calidad es muy precisa.
- Elimina el riesgo en campo con el personal; ya que se puede realizar vuelos desde un lugar seguro hacia la zona inestable.
- En el caso de multirrotores, se puede realizar un vuelo estacionario estabilizado, quiere decir, que a cualquier altura el aparato se puede mantener estático para obtener una mejor vista en la investigación
- Son muy fáciles de programar para volar y realizar misiones.
- A menor peso del aparato menor consumo.
- Fáciles de llevar y guardar.
- Son fáciles de Volar y reducen el tiempo de entrenamiento.
- No intrusivos, menor impacto ambiental (contaminación).
- Los aparatos a altura pueden pasar desapercibidos y sigilosos.
- Son muy accesibles y son muy poderosos para llegar a lugares que sencillamente son inaccesibles.
- Operaciones en tiempo real.
- Los costos de mantenimiento son de bajo costo y rápidos.

- Si usamos Alas fija se pueden mantener volando la zona durante varias horas al contar con varias baterías, las mismas que son fáciles y ligeras de llevar.
- Se puede realizar sobrevuelo controlados a bajas alturas.

1.5.6 LIMITACIONES

A pesar de que estos aparatos tienen muchas ventajas, las desventajas y limitaciones también se encuentran presentes entre las principales tenemos:

- La capacidad de vuelo se encuentra limitada en cuadricopteros de bajo costo.
- En el vuelo son vulnerables.
- Depende del rango equipo y mando según el tipo de aparato.
- No se puede volar más de 150m según la normativa vigente en Colombia.
- Pierde precisión fotogramétrica si estamos en zonas de extrema vegetación.

CAPITULO IV

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS

○ DEFINICIONES:

Es importante acotar que la tecnología de fotogrametría viene de la mano de los sistemas de información geográficas, es uno de los sistemas de captura con los que se cuenta, como lo es la cartografía, todos los mapas, planos y proyectos además de lugares se encuentran producidos por Sistema de Información Geografía (SIG), gracias a ellos se puede convertir el medio físico en el cual nos encontramos en datos digitales georreferenciados.

○ DEFINICIÓN DE SIG:

Existen varias definiciones según (Seguí, Portalés, Cabrelles, & Lerma, p.124.) en su investigación la definen como, “Los Sistemas de Información Geográfica son paquetes informáticos diseñados para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y visualizar datos georreferenciados geográficamente”

Los SIG permiten identificar relaciones espaciales entre las distintas informaciones alfanuméricas que contienen sus “datos geográficos”. Un SIG no guarda la información de un mapa/plano de forma convencional, sino que almacena los datos para crear la representación adecuada a un propósito específico; generando así nuevos mapas/planos mediante las potentes herramientas de análisis que el sistema proporcional.

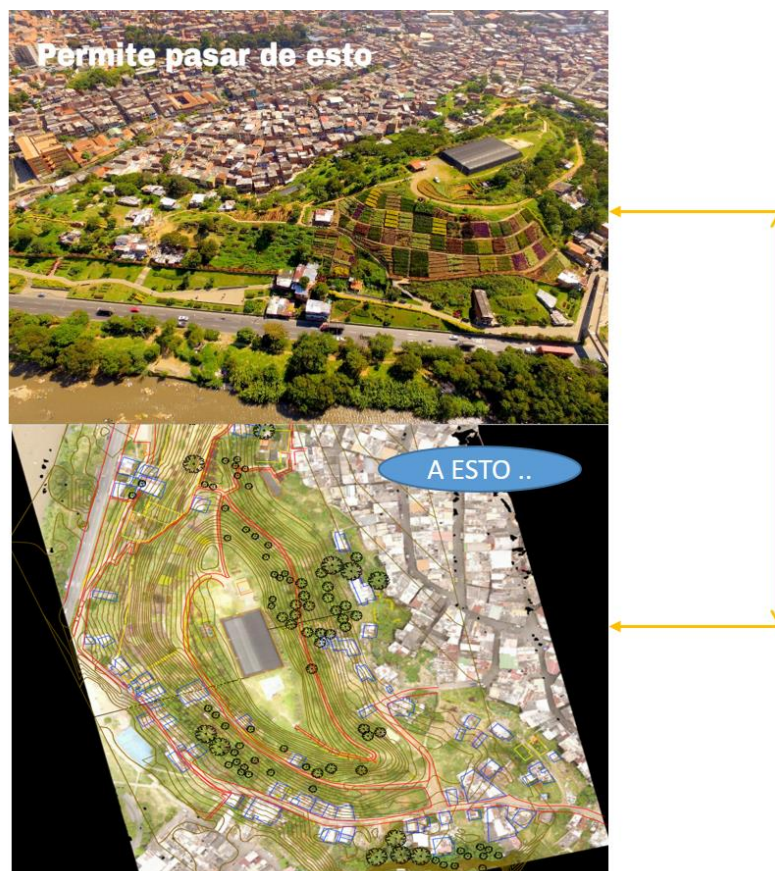
De este modo, quedan excluidas las definiciones de SIG como sistemas CAD o bases de datos. Así pues, un SIG debe contar con funciones básicas, las más importantes son las siguientes:

- ✓ Sistema de representación gráfica que visualice los datos espaciales, utilizando preferiblemente librerías gráficas estándar.

- ✓ Base de datos que gestione de forma sencilla los datos alfanuméricos y gráficos referentes a un espacio físico.
- ✓ Base de datos que posibilite relaciones espaciales y topológicas.
- ✓ Sistema de generación de cartografía automática a partir de consultas y simulaciones.
- ✓ Sistema de intercambio de datos (importación/exportación). (Seguí, Portalés, Cabrelles, & Lerma, p.124.)

Este sistema de información geográfica en pocas palabras nos permite:

Figura 33: SIG Y FOTOGRAMETRÍA



Nota: Fotogrametría cerro Moravia 2017- Medellín Colombia

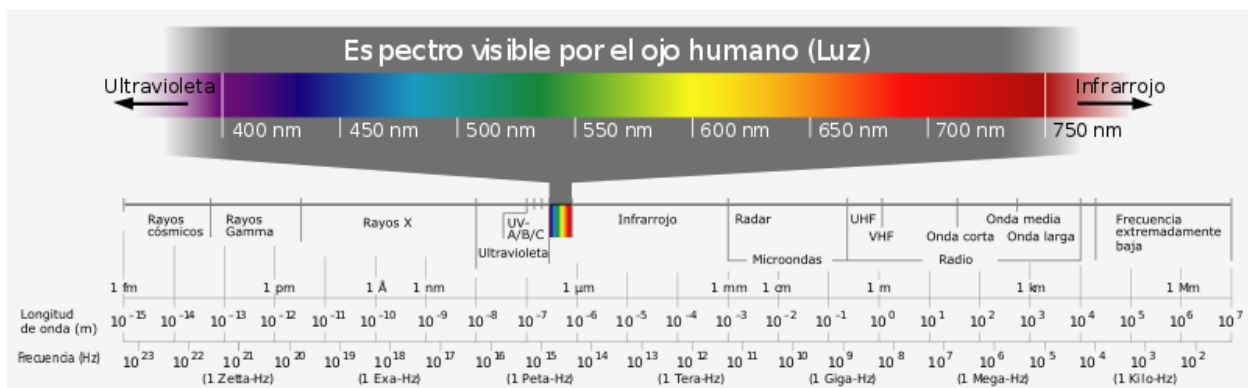
Los datos que es capaz de obtener el aparato UAV depende del tipo de sensor que tenga implementado en su estructura, en este caso nos concentraremos en sensores de imagen en el rango de espectro que sea capaz de captar dichos sensores, estos pueden ser:

- ✓ Sensor Multiespectral.
- ✓ Sensor Térmico.

- **SENSOR VISIBLE (RGB):**

Los sensores fotográficos o de video tiene la capacidad de detectar la radiación electromagnética. El espectro electromagnético incluye rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y ondas de radio. La diferencia entre estos diferentes tipos de radiación es su longitud de onda o frecuencia. Sólo una pequeña sección de este rango es visible a los ojos del ser humano (alrededor de 350 nm a 720 nm). Sin embargo, los sensores pueden detectar lo que las personas no pueden y mostrarlo para ser analizado o interpretado, (Vázquez, A, & Pohls, 2017, p17)

Figura 34: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Nota: Diagrama del espectro electro magnético, Recuperado: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico

Con la ayuda de fotogrametría, UAV e información geográfica, se puede modelar grandes extensiones de terreno tridimensionalmente en cuestión de horas, con precisiones iguales o mejores que las convencionales (hasta 3 cm, en X, Y, Z), de esta manera se tiene toda la información necesaria para usarla como una herramienta importante en el estudio y análisis de estabilidad.

Parte de la información obtenida será:

○ **ORTOMOSAICOS:**

Son una secuencia de imágenes de tipo mosaico, las mismas que se encuentran georreferenciadas, gracias a que fueron corregidos y rectificadas todos los errores geométricos, de esta manera cada punto en el terreno la podrán observar de manera perpendicular. Resultado de este proceso, el mosaico de imágenes tendrá una excelente resolución la misma que puede variar según la altura de vuelo, calidad de imagen y proceso fotogramétrico. Su resolución puede variar entre 3 y 20 cm/píxel, de hecho, se podrán obtener escalas de 1:500 en adelante, la cual sería variable, según el área de proyecto y calidad de la misma.

Figura35: ORTOMOSAICO



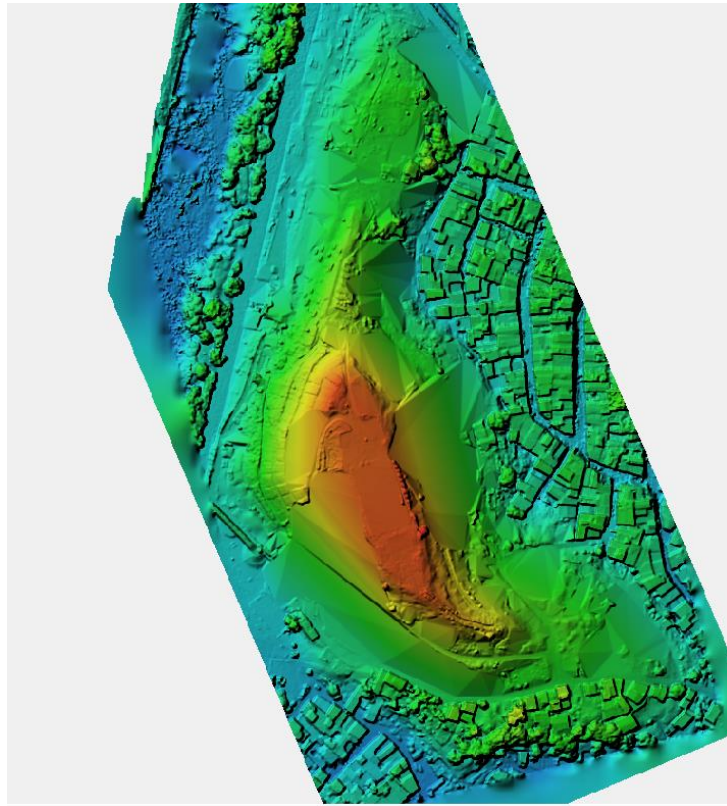
Nota: Ortofoto cerro Moravia-Medellín, 2017

○ **MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN:**

Llamado también DEM (Digital Elevation Model) son archivos que pueden representar de forma visual 3D y matemática los valores de elevación de la zona, estos valores se encuentran en un archivo de tipo raster con estructura regular, los DEM son obtenidos a través de softwares de computo especializados y se dividen en:

DTM (Digital Terrain Model): Es una representación de superficie de suelo desnudo, sin objetos como vegetación, autos, edificios y es considerado uno de los mayores retos por los softwares y visión computacional.

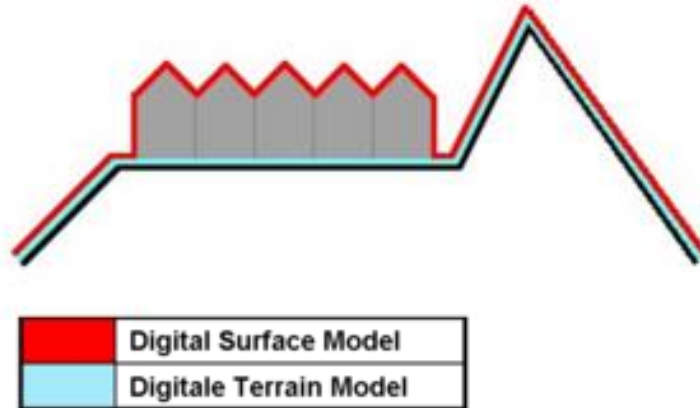
Figura 36: MODELO DIGITAL DE TERRENO, DTM



Nota: DEM Generado por el software Agisoft PhotoScan, Cerro Moravia 2018, Medellín

DSM (Digital Surface Model): Es la representación de una zona, incluyendo todos los objetos físicos existentes, el DSM también es más fácil de modelar que un DTM y usualmente este término es el genérico del DEM.

Figura 37: DSM VS DTM



Nota: **DSM** = superficie (tierra) incluyendo objetos en ella; **DTM** = superficie (tierra) sin ningún objeto

Recuperado de: <https://gis.stackexchange.com/questions/5701/what-is-the-difference-between-dem-dsm-and-dtm>

○ CURVAS DE NIVEL:

Son isoclinas que se encuentran a lo largo de la zona, de tal manera, que unen todos los puntos que tienen la misma altitud.

Figura 38: CURVAS DE NIVEL

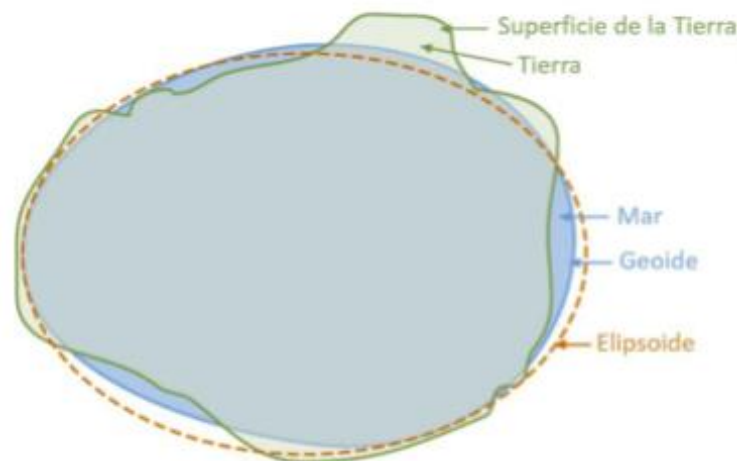


Nota: Curvas de Nivel, generadas por software Agisoft PhotoScan, Cerro Moravia, 2018, Medellín

○ LA FORMA DE LA TIERRA:

En la antigüedad se pensó que la Tierra tenía forma planar, con el paso de los años, los investigadores aseguran que su forma es esférica, esta forma es la que se puede ver desde el espacio a gran distancia. (Salvador, 2016, p.28) Comenta que “estudios más recientes han demostrado que en realidad la figura exacta de la tierra, se asemeja a un elipsoide de revolución llamado geoide (superficie compleja formada por el nivel de los mares supuestos prolongados por debajo de los continentes)”, ahí se encuentra el problema, como la geodésica matemática estudia la tierra mediante la determinación de coordenadas de puntos situados sobre su superficie, las mismas son calculadas matemáticamente sobre una superficie que responde a las leyes matemáticas, el geoide no cumple con este requisito, de tal manera que la solución fue adoptar una superficie arbitraria, que se adapte lo más posible a la forma del geoide, esta figura es el elipsoide, que se adapta mejor y se ajusta a la forma de la tierra, ya que sobre él sí se pueden efectuar cálculos angulares, de posición y de distancia, Ver (figura 40)

Figura 40: AJUSTE DE GEOIDE A LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



Nota: Se distinguen dos geoides. -Globales: se ajustan a la forma de la tierra y -Locales: se ajustan a una zona concreta de la tierra, (Salvador, 2016,p.29)

Si se usa sistemas de GPS, se está usando coordenadas con el sistema WGS84, que es el elipsoide con el que trabajan estos aparatos de georreferenciación, en la actual el sistema WGS84 es usado normalmente tanto en Ecuador como en Colombia, para la elaboración de planos y proyectos.

○ **SISTEMAS DE COORDENADAS.**

De manera muy resumida los Sistemas de Coordenadas son usado para cuantificar la ubicación precisa de los objetos y sus relaciones espaciales, con el sentido de ubicar estos objetos en el espacio para determinar si estos puntos u objetos, se encuentran cerca uno de otro, se sobreponen o se encuentran a gran distancia. En GIS se usan: sistema de coordenadas geográficas y sistema de coordenadas proyectadas, ambos son capaces de representar al planeta de una manera diferente y eficaz, comenta (Lopez, 2016).

1.5.7 Sistemas de Coordenadas Geográficas.

Este sistema puede localizar ubicaciones de cualquier punto de la superficie de la tierra, simplificando su forma, puesto que el sistema es de tipo de coordenadas esféricas, esto quiere decir, que tanto los meridianos y paralelos no son rectos, ni se encuentran espaciados regularmente. Este tipo de sistema es bastante usado cuando se trata de levantar grandes áreas y se requieren datos angulares de grados, minutos y segundos, (Salvador, 2016,p. 31).

Las ubicaciones se referencian por valores de latitud y longitud. Los valores de longitud, se miden de este a oeste, mientras que los de latitud son medidos de norte a sur.

1.5.8 Sistemas de Coordenadas Proyectadas.

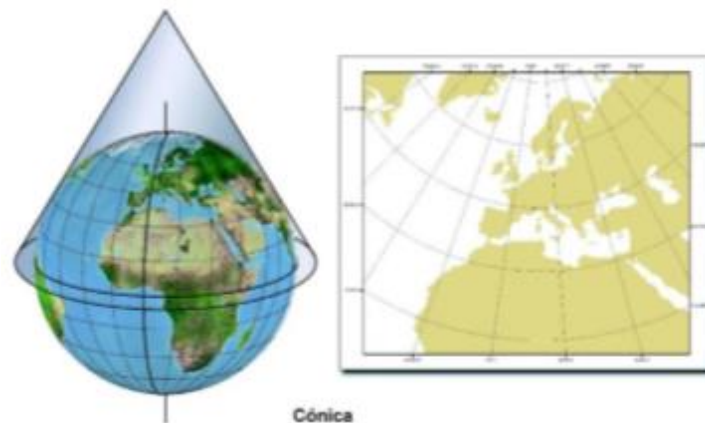
Este sistema es plano y tiene dos dimensiones, según (Salvador, 2016,p.32). En un sistema de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican por las coordenadas cartesianas (x e y) en una malla cuyo origen depende de los casos.

Este tipo de coordenadas se obtienen matemáticamente a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud), que no son proyectadas. La proyección cartográfica se traza con base en figuras geométricas como el cono o el cilindro y su objetivo es mostrar la forma y las dimensiones aproximadas de los componentes de nuestro planeta y evitar al máximo su deformación.

Los principales tipos de proyecciones son:

Proyección cónica: Se obtiene al proyectar la superficie terrestre sobre un cono imaginario. La representación será exacta cerca de donde ambas figuras se tocan, pero tendrá deformaciones en los puntos más alejados, ensanchando la imagen representada en la base del cono y comprimiéndola en la punta del mismo.

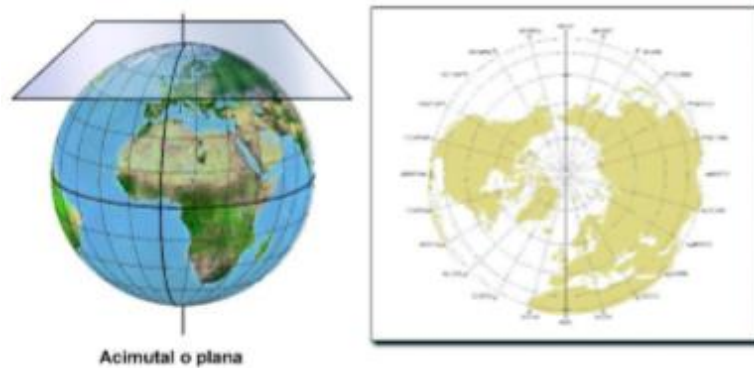
Figura 41: PROYECCIÓN CÓNICO



Fuente: (Salvador, 2016,p.33)

Proyección acimutal o plana: Resulta de proyectar la superficie del planeta en una hoja de papel que hace contacto en un solo punto. Se logra una buena aproximación, pero con la desventaja de que se representa sólo una mitad del globo terrestre.

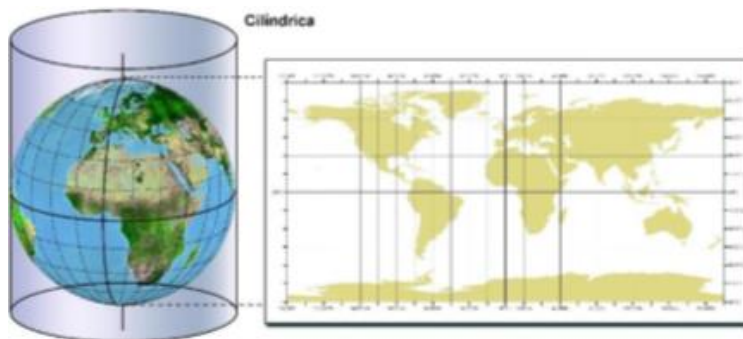
Figura 42: proyección acimutal de la tierra



Fuente: (Salvador, 2016,p.33)

Proyección cilíndrica: Supone que la Tierra está dentro de un cilindro y sobre éste se proyecta la forma de la superficie terrestre; los territorios cercanos al ecuador mantienen sus proporciones, pero al aproximarse a los polos la imagen proyectada se distorsiona de manera considerable. (Salvador, 2016, p. 34)

Figura 43: PROYECCIÓN CILÍNDRICA



Fuente: (Salvador, 2016,p.33)

1.5.9 Proyección universal transversa de Mercator:

El Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) es un sistema desarrollado por el geógrafo flamenco Gerardus Mercator en 1659 que está dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial de coordenadas, está basado en la proyección geográfica transversa

de Mercator, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas tradicional, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia. Esta proyección es "conforme", es decir, que conserva los ángulos y casi no distorsiona las formas, pero inevitablemente sí lo hace con distancias y áreas.

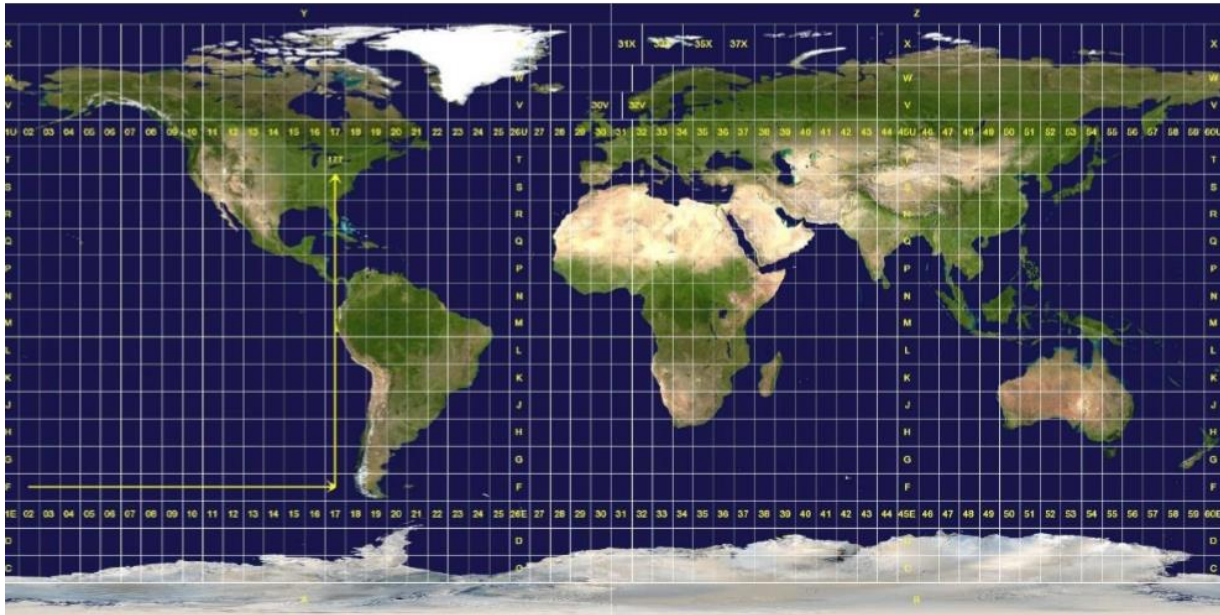
La utilidad que tiene esta proyección, por su conformidad como aplicación a problemas geodésicos, recomendable para la representación de casi todos los países, exceptuándose aquellas zonas situadas a $\pm 80^\circ$ de latitud, en las que se utiliza la proyección estereográfica

El sistema de proyección UTM tiene las siguientes ventajas frente a otros sistemas de proyección:

- Conserva los ángulos.
- No distorsiona las superficies en grandes magnitudes (por debajo de los 80° de latitud).
- Un punto queda fácilmente localizable.
- Es de empleo universal

Las cartas topográficas actuales se basan en la proyección U.T.M., el cilindro al ser tangente a un meridiano, puede girar alrededor del eje de la Tierra, teniendo así infinitas posiciones según sea el meridiano de tangencia. De ahí su nombre de transversa, puesto que el cilindro se coloca transversalmente al eje terrestre. (Salvador, 2016, p.34-6)

Figura 44: CUADRICULA UTM



Fuente: (Salvador, 2016,p.36)

○ GLOBAL POSITION SYSTEM “GPS”

Sistema de posicionamiento global “español”, es un sistema de localización o navegación, permite determinar cualquier objeto, persona o nave, en toda la tierra, funciona mediante satélites (GNSS), pues estos aparatos denominados GPS son bastante usados últimamente conjunto a la fotogrametría. Permite obtener posicionamiento de cualquier objeto físico, en coordenadas X,Y,Z , con precisiones métricas, usando GPS comunes, y usando GPS diferenciales se puede obtener precisiones centimétricas. Este sistema fue inventado, desarrollado y es controlado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

1.5.10 Funcionamiento:

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo), estos satélites realizan trayectorias sincronizadas para de esta manera. Cubrir toda la superficie de la tierra, pues los satélites se encuentran a una altura de 20 km aproximadamente sobre el globo terráqueo. El

GPS necesita de tres satélites mínimo, para la obtención de una posición, además de recibir datos de reloj de cada uno de estos satélites, estos datos son sincronizados para calcular el retraso de señal (distancia del satélite) y calcular una posición.

El GPS realiza cálculos de triangulación según la distancia de los mismos respecto al punto de medición, de esta manera se puede obtener coordenadas reales del punto en el q se encuentra. (Giménez Rodríguez María Elena Ros Bernabeu Gravitación Astrofísica, 2009)

Figura 45: GPS DE ALTA PRECISIÓN DE MANO



Fuente: <http://www.geosoluciones.cl/gps-cartografico>

1.5.11 RELACIÓN FÍSICA

Principio de triangulación:

El aparato calcula el tiempo en el que pudo captar la señal emitida por el satélite, y conociendo la velocidad de propagación de la señal, este es capaz de determinar una esfera dentro de la cual,

la distancia es igual a la velocidad por el tiempo empleado, es por aquello que mientras más satélites captados, mayor es la precisión obtenida. (Giménez Rodríguez María Elena Ros Bernabeu, Gravitación Astrofísica, 2009, p. 8)

Fuentes de Error:

El receptor GPS al captar la señal, para calcular la posición tiene fuentes de error que afectan a la señal en su recorrido satélite – GPS, entre los principales errores tenemos:

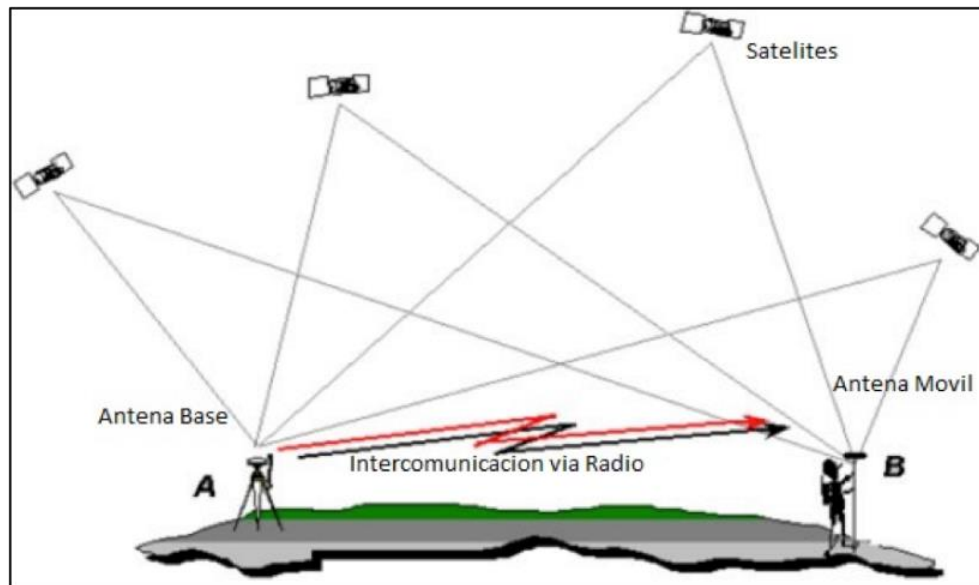
1. Errores debidos a la atmósfera.
2. Errores en el reloj GPS.
3. Interferencias por la reflexión de las señales (multipath effect).
4. Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
5. Geometría de los satélites visibles. (Giménez Rodríguez María Elena Ros Bernabeu

Gravitación Astrofísica, 2009, p. 12)

○ GPS DIFERENCIAL:

GPS-RTK consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétricas (1 o 2 cms.+1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. La señal RTK se obtiene de una antena Base o red de antenas con coordenadas conocidas, las cuales envían la señal corregida al receptor del vehículo a través de sistemas de radio. De esta manera el receptor del móvil recibe la señal satelital y la de las antenas RTK otorgándole de esta manera una precisión centimétrica (2,5 cm). Estas redes de bases actualmente pueden estar fijas abarcando un radio de cobertura captado por los receptores abonados a esa base, o bien pueden ser móviles, las cuales se montan en los lugares donde se realiza la labor que necesita corrección. A medida que el vehículo se aleja de la red de cobertura de la base, la precisión disminuye. (Villarroel & Scaramuzza, 2014)

Figura 46: FUNCIONAMIENTO DE GPS DE PRECISIÓN RTK



Recuperado: <http://blog.tecnoceano.com/?p=8>

Figura 47: SISTEMA GPS RTK



Recuperado: https://fotos.habitissimo.cl/foto/sistema-gps-rtk_160691

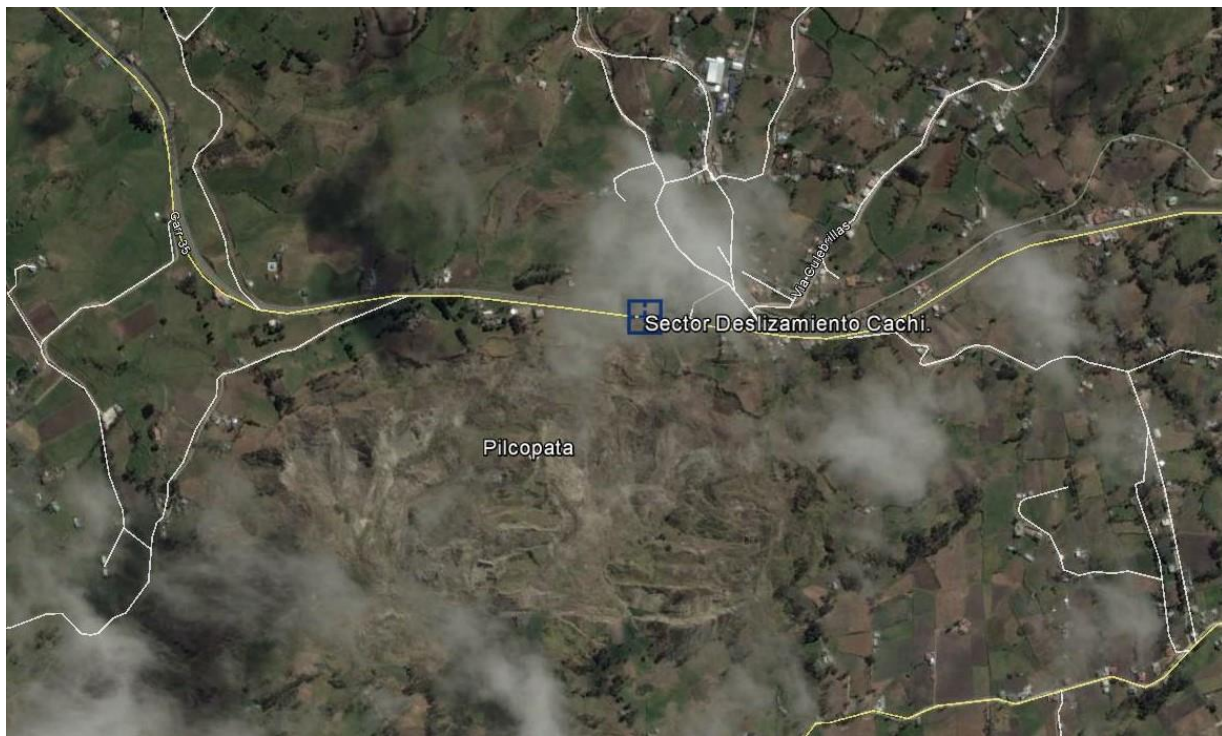
CAPITULO V

PROCESAMIENTO DEL PROYECTO

○ UBICACIÓN:

El Macro-deslizamiento que se desea investigar como ejemplo y aplicar la metodología propuesta, se denomina “ESTUDIO MACRO-DESLIZAMIENTO CACHI”, se encuentra ubicado en el país de Ecuador, Provincia del Cañar, sector “Tambo-Cachi”, entre las coordenadas aproximadas, U.T.M, zona 17 M, DATUM WGS84: Latitud 9723203.36, Longitud 728949.83, Hemisferio Sur, Ver (Figura 48)

Figura 48: DESLIZAMIENTO CACHI



Recuperado: Fotografía actual de Google Earth Pro, 2018

Estos problemas de inestabilidad y riesgo de deslizamientos son “consecuencia directa de la naturaleza geológica de los materiales que lo constituyen, como su comportamiento geomecánico,

exposición y del impacto de factores externos como saturación, sismos y factores antrópicos” (Precupa, 1998, p. B8).

El ámbito de estudio es accesible a través de la vía Biblian-Zhud, cabe recalcar que el sector Cachi pertenece al cantón Tambo.

Figura 49: VISTA PANORÁMICA DEL DESLIZAMIENTO CACHI



Nota: Esta vista sería la primera impresión de un Ingeniero Geotecnista, la misma que muestra un macro-deslizamiento, una geología Pre-glacial, que es responsable de provocar inestabilidad en el escarpe de falla y debido a la gravedad, ocurre el deslizamiento NE – SO, y carece de información como la magnitud del mismo.

Este deslizamiento activo, afecta una arteria vial importante denominada vía Panamericana de Biblían-Zhud, ocasionando varias catástrofes, como la destrucción parcial y total de varias viviendas, además de obras civiles comunitarias, razones fundamentales que determinan que se necesita realizar un estudio de investigación y mitigación de la zona, para determinar y analizar las posibles causas de inestabilidad y deslizamiento que sufre el sector.

Cuando un Ingeniero Geotécnico atiende a este tipo de casos, tiende a demorar cierto tiempo en determinar estas causas, que muchas veces deberían ser inmediatas, puesto a la actividad de

deslizamiento que se enfrentan, estas condicionantes y detonantes son agravadas en periodos de grandes lluvias, en épocas invernales y por acciones antrópicas. Las fotografías aéreas como herramienta para la investigación de deslizamiento de taludes y laderas pueden tener una serie de ventajas como:

Reconocimiento de toda el área de estudio, a través de fotografías de alta calidad, que pueden apoyar a la planificación de campo, esquemas de muestreo, e investigación del detonante de deslizamiento, sin necesidad de recorrer la zona inestable físicamente, ya que muchas de las veces nos encontramos en zonas de difícil acceso o simplemente inaccesibles.

Representación de la zona en 2D y 3D a través de fotogrametría digital y visión computacional, es capaz de mostrar todo el ámbito de estudio desde un punto de vista diferente, además de exponer todos los elementos del paisaje, permite planificar el estudio con la certeza de siempre contar con ubicación exacta y longitudes verdaderas de la zona, realizar propuestas y presupuestos correctos, datos importantes para un Ingeniero Geotécnico en corto tiempo y con exactitud.

Esta modelación ayuda a entender las características de la superficie del sitio en estudio, si los procesamiento posteriormente explicados son realizados correctamente, el Geotecnista será capaz de distinguir cubierta vegetal, zonas húmedas, esquema de drenaje, morfología, estructuras civiles afectadas, caminos reales, zonas de acumulación e infiltración si es el caso, entre otras.

Con la obtención de orto-fotografía de alta calidad se puede realizar investigación y comparación con imágenes históricas, que ofrecen herramientas como Google Earth u ortofotos fidedignas de la zona, de esta manera se puede cotejar ciertas condiciones de deslizamiento en épocas diferentes, y seguir este desarrollo de la inestabilidad en el tiempo

Con estos procesos fotogramétricos posteriormente se podría realizar mapas de peligrosidad, riego, susceptibilidad de la zona.

Se puede monitorear el avance de deslizamiento, extensión superficial del cuerpo de deslizamiento de tierra, la tasa de regresión de la cicatriz cabeza, velocidad de desplazamiento, entre muchas características más, (Walstra, Chandler, Dixon, & Dijkstra, 2007).

○ **DATOS GENERALES DEL CANTÓN TAMBO:**

Según datos obtenido del PDOT (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial), realizado por el Gad Municipal del Cantón Tambo, 2014:

Fecha de creación del Cantón: El Cantón Tambo se canonizó el 24 de enero de 1991. Tuvo sus orígenes en el tiempo del incario. Su nombre proviene del vocablo quichua “tambo”, que significa lugar de descanso, y constituía el "paradero obligatorio" del correo inca, viajeros y caminantes. San Juan de El Tambo, fue fundada como parroquia eclesiástica el 5 de julio de 1835 como Sufraganía de Hatun Cañar, para el 8 de septiembre de 1852 se convierte en parroquia civil del cantón Cañar. Geopolíticamente es uno de los cantones más nuevos de la provincia del Cañar.

Extensión: El Cantón El Tambo tiene una superficie total de 6.583,64 ha, que corresponde al 1.62% del total de la extensión territorial de la Provincia del Cañar.

Límites: Al norte Juncal e Ingapirca, al sur Cañar, al este con la parroquia Ingapirca, y; Al oeste con la parroquia de Juncal.

Rango Altitudinal: La topografía del Cantón El Tambo varía entre los 2600 y 4300 msnm. El territorio del Cantón se desarrolló fundamentalmente en la cuenca del río Cañar; La distribución de las pendientes conforma en general un paisaje agreste y empinado en toda la cuenca del río

Cañar, así como en las sucesivas particiones de sus subcuencas y micro-cuencas. (“Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial del Cantón Tambo.,” 2014)

Geología de la zona.

El territorio del cantón El Tambo, se hallan en la Cordillera de los Andes Nor-septentrionales, específicamente en el del Ecuador y de las cinco regiones morfoestructurales se encuentran la Cordillera Occidental y en la Cordillera Real; basados en ello se hará una descripción de la secuencia estratigráfica del área en estudio: (“Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial del Cantón Tambo.,” 2014), (Ver Figura 51), (Anexo 1, Mapa No 1, Mapa geológico del Cantón el Tambo).

Litoestratigrafía del Área de estudio:

El basamiento se encuentra formado por rocas volcánicas ácidas cubiertas por rocas sedimentarias que corresponden a las formaciones de la parte norte de la cuenca de Cuenca (Fm Turi) y varios depósitos superficiales glaciares y fluvioglaciares (Morrenas y tillitas). Estas últimas prevalecen en el área de estudio y se los denomina depósitos de tillitas (gt).

Figura 50: MATRIZ DE DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES GEOLÓGICAS

Formaciones Geológicas	Descripción
Formación Turi (M Ti)	<p>Recientes dataciones en cenizas intercaladas de la Formación Turi indican una edad del Mioceno - Tardío. Su litología sugiere que su génesis corresponde a depósitos en un ambiente continental incorporando sistemas fluviales con grandes aportes y zonas de Inundación.</p> <p>Se observa una gran variedad lateral en su litología, consiste de conglomerados de base, arenas, arcillas, tobas y brechas bien estratificadas. En la vía hacia la población de Turi se observa conglomerados con aportes volcánicos y arenas con estratos sub horizontales sobre capas sedimentarias deformadas.</p>
Formaciones Cuaternarias Recientes (Qal)	<p>Son los depósitos morrénicos, terrazas levantadas, coluviales y aluviales, por su baja consolidación pueden generar movimientos de terrenos y pueden sufrir intensos procesos erosivos. Afloran desde la planicie costera hasta el páramo (CODIGEM, et al 1997). <i>Tillitas y coluviales sobre la Formación Turi, al tope de la secuencia de la cuenca sedimentaria.</i></p>
Formación Tarqui (PT) Pleistoceno	<p>La formación Tarqui está representada por una cubierta volcánica se encuentra sobre las rocas sedimentarias y se considera equivalente a la formación Tambo Viejo del Mioceno superior (Hungerbuhler y Steinmann, 1996.) Comprende tobas ácidas caolinizadas, unas intensamente meteorizadas y otras blancas y rojas, que cubren todas las unidades más antiguas del área. Es característica la presencia de abundantes cristales euhedrantes bipiramidales de cuarzo que se encuentra e pequeños bolsillos residuales en la superficie.</p>
Formación Macuhi	<p>Esta unidad está datada en el Paleoceno-Eoceno Medio. Comprende una secuencia litológica conformada por tobas como la roca más importante, areniscas volcánicas, limos, turbiditas redepositadas, pillow lavas andesítico-basálticas, brechas y sedimentos de grano fino.</p> <p>Las tobas se presentan en estratos mayores, su coloración es verdosa, se incluyen junto a las areniscas volcánicas y las brechas a sedimentos de grano fino silicificados, también de color verdoso. La toba presenta clastos de sílice, albita y vidrio como minerales principales, oolitos de calcita y epidota como secundarios y minerales arcillosos como accesorios.</p>










○ PROYECTO DE VUELO

Cuando se requiere realizar vuelos con el fin de obtener tomas fotográficas aéreas se debe tomar en cuenta una serie características principales, para evitar retrasos e inconvenientes posteriores:

1.5.12 Adquisición de datos: Planificación y ejecución de vuelo

Cuando se trata de realizar una planificación de vuelo mediante aparatos UAV, una de las soluciones más rápidas y fáciles es realizar este plan de vuelo con ayuda de aplicaciones que sean capaces de obtener datos de mapeo óptimos, con el fin de encontrar una aplicación ideal, en esta investigación se ha usado varias de las más populares en este campo, dando como resultado el siguiente cuadro resumen:

Figura 51: APLICACIONES PARA PLANIFICACIÓN DE VUELOS AUTOMÁTICAS PARA UAV

APLICACIONES MISIONES AUTÓNOMAS	 PIX4D CAPTURE	 DRONEDEPLOY	 DJI GSP PRO	 UGCS	 DRONE HARMONY	 HANGAR 360	 DRONE BLOCKS	 LITCHI	 HFDROM
APP GRATUITAS	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
COMPATIBILIDAD	✓	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓
ANDROID	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	X
IOS	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	X
WINDOWS	X	✓	✓	✓	X	X	X	X	X
MAC	X	✓	X	X	X	X	X	X	X
PLAN DE VUELO	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓
MISIÓN GRILLA	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X
MISIÓN CIRCULAR	✓	X	✓	✓	✓	X	X	✓	X
Fotografía 360°	X	X	X	X	X	✓	X	✓	X
GUARDAR MISIÓN	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	X
Vista previa de captura	✓	X	X	X	✓	X	X	X	X
Cargar Kml/Kmz	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	X
COMPATIBILIDAD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DJI	✓								
PARROT	✓	X	X	✓	X	X	X	X	✓

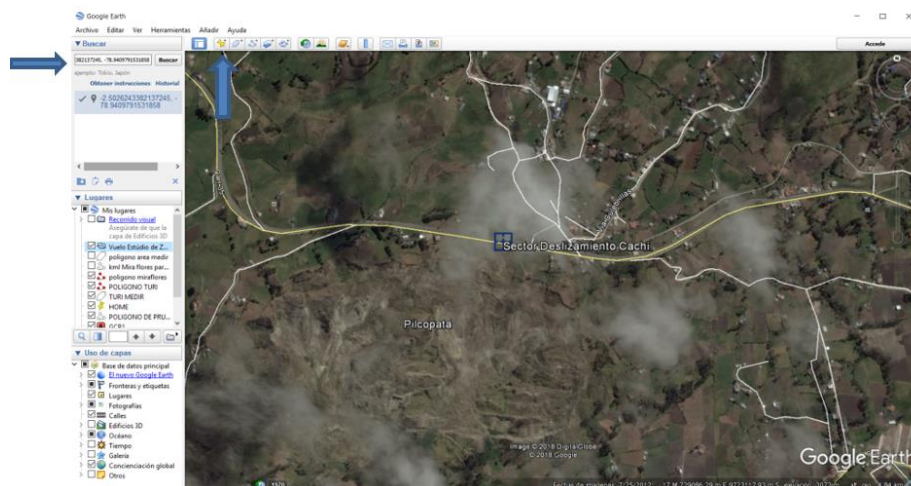
Nota: Aplicaciones más populares para la planificación de vuelo y compatibilidad.

En el cuadro (figura 52) se nota varias aplicaciones para planificación de vuelo, todas ellas compatibles con aparatos de la marca DJI, Parrot, entre otras, luego de haber manipulado cada una de ellas, se notó que son bastante intuitivas y fáciles de manipular con algunos pros y contras que se puede observar en el cuadro resumen anterior. Para esta investigación se realizará el paso

a paso con la aplicación “Pix4d Capture”, ya que es bastante estable con el Inspire 1 (aparato UAV) y fácil de usar, además es compatible con celulares y tablets con sistema Android o Apple, que son dispositivos que se tiene al alcance, son fáciles de llevar a campo y se usan como pantalla donde visualizaremos todos los datos del aparato y lo que él capta desde su sensor, así mismo esta aplicación “Pix4d Capture” consta de características que se explicaran posteriormente.

Antes de planificar el vuelo se debe conocer el lugar aproximado donde ocurre el problema de inestabilidad, en este caso se cuenta con las coordenadas del sitio de deslizamiento, estas se encuentran expuestas al inicio de este capítulo; Para planificar el vuelo se coloca las coordenadas en la herramienta de Google Earth Pro (gratuita en la web), o se puede usar otro tipo de software, como el Qgis, Arcgis Explorer, Globlal Mapper, entre otros, y ubicar la zona del desastre, usando la herramienta buscar coordenada de la paleta principal, y agregare una marca de posición, de esta manera referenciar el plan de vuelo, además descargar en dispositivos como: Tablet o teléfono, la aplicación gratuita denominada HFDrone y Pix4d capture, las conocerán según avance la investigación.

Figura 52: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO

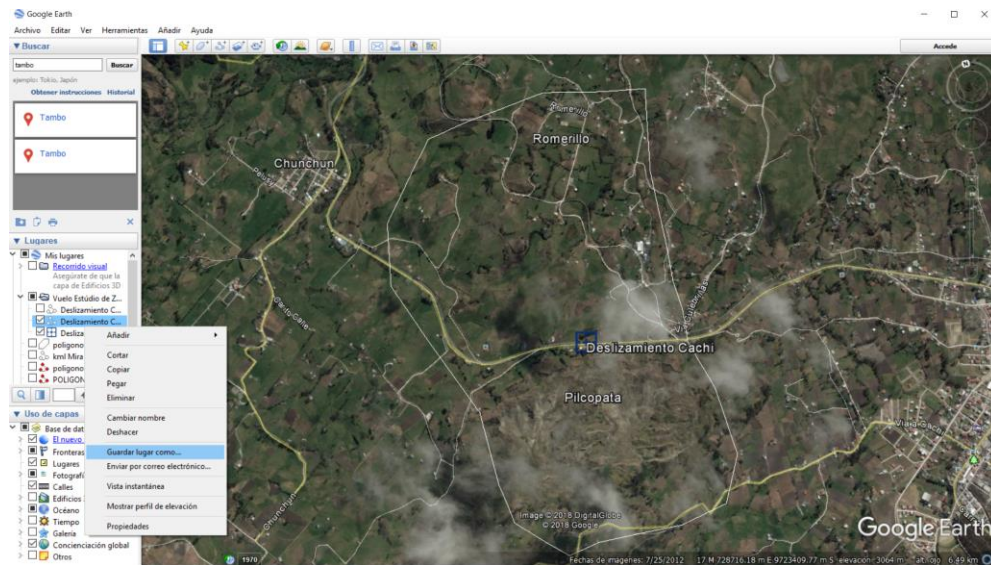


Nota: Colocar las coordinas del sitio inestable y el punto de ubicación del sector

El siguiente paso para esta planificación, es realizar el polígono del área que se desea estudiar, este proceso se realiza en el ícono, agregar ruta, que se encuentra dentro de la paleta principal de esta herramienta.

Nota: al realizar este polígono de investigación para el vuelo, la herramienta de Google Earth ayuda a ubicarse a través de las coordenadas y alturas, de esta manera formar un polígono, que constituiría el área a estudiar (esta área puede ser modificada en cualquier momento, en campo u oficina. Con poco criterio, se logra realizar el polígono, cabe recalcar que la idea es conocer más de lo que el Geotecnista puede recorrer desde el punto que se encuentra y evitar caminar grandes distancias para ganar tiempo:

Figura 53: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO



Nota: Luego de realizar el polígono de vuelo, colocaremos un nombre y lo guardaremos como archivo KML, en la carpeta de preferencia.

A continuación de obtener el archivo polígono, planificar la ubicación de los puntos GCP (Grond Control Point) o puntos de control en tierra, con el fin de aumentar la exactitud y precisión del levantamiento fotogramétrico, la equilibrada distribución de aquellos puntos, puede garantizar resultados de calidad y precisión centimétrica si se usa GPS de alta precisión “RTK”.

En esta investigación se usa un GPS común, ya que es más accesible, fácil de usar y mucho más económico que un RTK, no se podrá obtener la misma precisión, pero se trata de realizar este vuelo con velocidad y que el Geotecnista tenga una idea detallada del problema con una precisión aceptable para la investigación.

El GPS a usar es de la marca Garmin denominada “GPSMAP 64S”, Receptor: 24 GPS+GLONASS Canales Paralelo, para rastrear la señal de los satélites y calcular la posición.

Tiempo de Adquisición: Warm (En Caliente) 1 segundos, Cold (En frío) 38 segundos.

AutoLocate: 45 segundos, Además contara con una Antena de precisión GA 38, adaptador BCN-MCX con montura para tubo, con el objetivo de mejorar aún más la precisión del proyecto.

1.5.13 Ubicación de los puntos “GCP”

Los puntos de control terrestres están ubicados cerca de vías de acceso (de esta manera se ganará tiempo valioso), de tal forma que puedan coincidir y se encuentren organizados, estos puntos deben ser colocados para relacionar el terreno con las fotografías, esto quiere decir que se usa para georreferenciar el proyecto a realizar.

Para colocar los puntos de control se ayuda con la vista satelital del terreno, con la herramienta Google Earth pro, este software se puede descargar de forma gratuita de la red, en el caso de zonas que se puedan acceder, el número de puntos de control ayuda a una mejor precisión absoluta del proyecto, con el fin de que el proyecto se encuentre en un punto exacto en la tierra, además los puntos GCP se colocan de manera ordenada, de tal manera que cubra toda la zona a levantar, puesto que gracias a la precisión de aquellos puntos, y el post-proceso fotogramétrico, se corrige la escala y ayuda a obtener un correcto modelo 3D. Estos puntos GCP son foto-identificables (que se

puedan observar a cualquier altura), y son colocados dentro del área de vuelo, nunca fuera, estan siempre en lugares planos donde no exista vegetación que nos evite observar ese punto desde el aire.

1.5.14 Señalización de los puntos GCP en el Terreno:

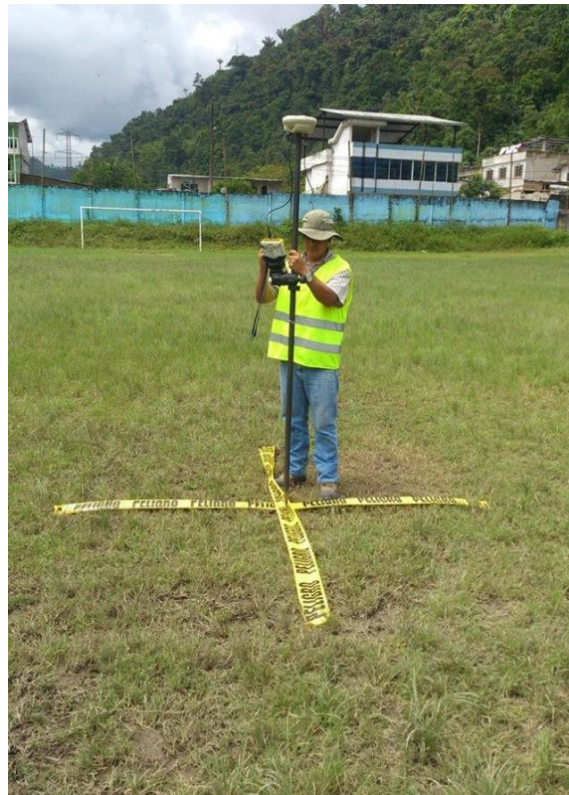
No existe un método para señalarlos, muchas empresas que se dedican a la fotogrametría digital suelen usar materiales como el aluminio, cinta, madera, cualquier objeto que permita ser reconocido desde el aire, se presenta algunos ejemplos:

Figura 54: SEÑALIZACIÓN PUNTO GCP



Nota: Uso de pintura spray color rojo y blanco

Figura 55: SEÑALIZACIÓN PUNTO GCP



Nota: Uso de cinta peligro (No recomendada)

Figura 56: Señalización Punto GCP

Nota: Laminas de 1 pulgada de espesor (20x40cn)

Figura 57: Señalización Punto GCP

Nota: Uso de cal, Ubicación: UNAL-Medellín

1.5.15 Procedimiento para planificar Plan de Vuelo:

En la herramienta Google Earth ya instalada en su ordenador, ubicar los puntos de control terrestres, además del punto de “HOME”, el punto de “casa” es muy importante ubicarlo, desde ahí el UAV es enviado y regresara a su punto de partida al terminar o cancelar la misión, se debe tener cuidado cuando existan desniveles grandes de terreno, con ayuda de Earth se pueden fijar en la alturas “z” para ubicar con facilidad los puntos GCP y HOME; Tratar si es el caso de situar el punto HOME en un zona donde no se pierda de vista nuestro UAV, y él aparato pueda despegar y aterrizar con tranquilidad, en el caso de esta zona de estudio, los desniveles de la zona son grandes por lo que se ubicaran de la siguiente manera en esta investigación: Ver (Figura 62)

Nota: Para esta investigación se agregó 7 puntos de control, con el objetivo de tener la mayor precisión posible, y fueron ubicados en lugares cercanos a las vías, de tal forma que estos sean foto-identificables (que se puedan observar a cierta altura), ya que es muy difícil y peligroso acercarnos a la zona de inestabilidad.

Las marcas de estos puntos de control fueron pintadas con pintura de agua, de color blanco y una brocha de bajo costo, con la idea de colocarlos fácilmente y sean fáciles de reconocer en las fotografías aéreas que se tomaran posteriormente, estos puntos se los emplaza en la herramienta Eearth al igual que límite del área a levantar, con sus respectivas coordenadas, para que en campo sean fáciles de encontrar y tomar medidas GPS rápidamente.

Para esta investigación la ubicación de puntos en campo, tomo un tiempo aproximado de 20 minutos, y fueron tomados de la siguiente manera, (Ver figura 59, 60, 61).

Figura 58: GCP 1, PUNTO DE CONTROL EN SUPERFICIE



Nota: Se identificó siete puntos de control en total, los mismo que fueron marcados y numerados en orden

Figura 59: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL

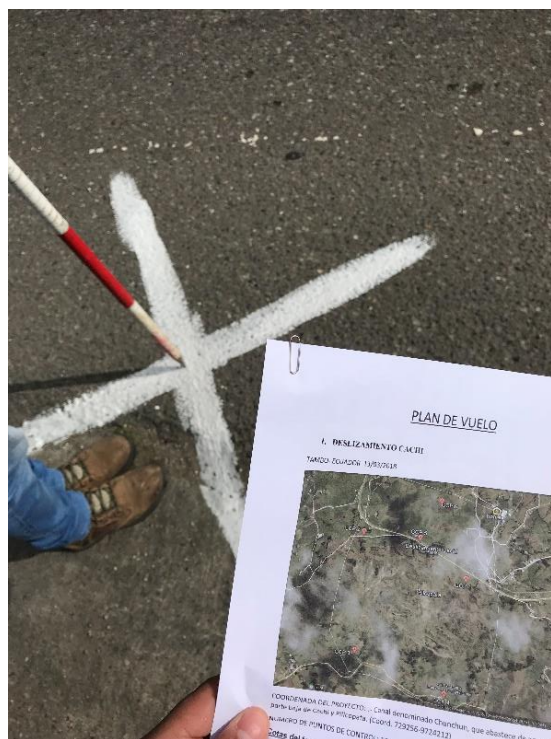


Figura 60: TOMA DE DATOS



Nota: Siempre se debe llevar al campo el plan de vuelo, de tal manera que su ubicación sea acertada y no perdamos tiempo.

Figura 61: HERRAMIENTA GOOGLE EARTH PRO



Nota: Ubicación puntos GCP y Punto Home, para planificar vuelos.

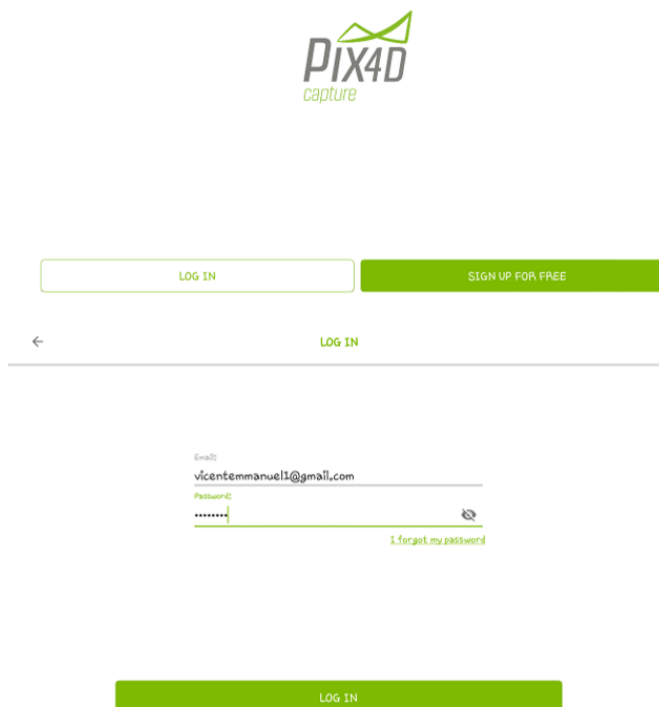
Una vez terminado la planificación en Earth, se tienen dos opciones, 1. Guardar el polígono KML a través de un cable Usb hacia el móvil o Tablet o 2. Enviar este archivo vía Email a cualquier dispositivo, que tenga instalado desde el Marquet la aplicación Pix4d Capture, Ver plan de vuelo (Anexo - 2)

○ APLICACIÓN PIX4D CAPTURE:

Esta aplicación sirve para planificar vuelos de manera autónoma, admite una gran variedad de UAV's, y es compatibles con los sistemas Android y IOS más información ver: (figura 52).

Cuando se abre la aplicación por primera vez muestra una pantalla de bienvenida, en la cual se debe registrar:

Figura 62: REGISTRO DE DATOS PIX4D CAPTURE



The screenshot displays the Pix4D Capture application's registration interface. At the top, the 'PIX4D capture' logo is centered. Below the logo, there are two buttons: a white 'LOG IN' button and a green 'SIGN UP FOR FREE' button. A horizontal line divides the screen into two main sections. The upper section contains a back arrow on the left and a 'LOG IN' label in the center. The lower section is the registration form, which includes an 'Email' field with the text 'vicentemanuel@gmail.com', a 'Password' field with masked characters '*****', and a 'forgot my password' link. At the bottom of the screen, there is a large green button labeled 'LOG IN'.

Nota: Se registra con dirección y clave

En la pantalla principal encontraremos cuatro modos de vuelo:

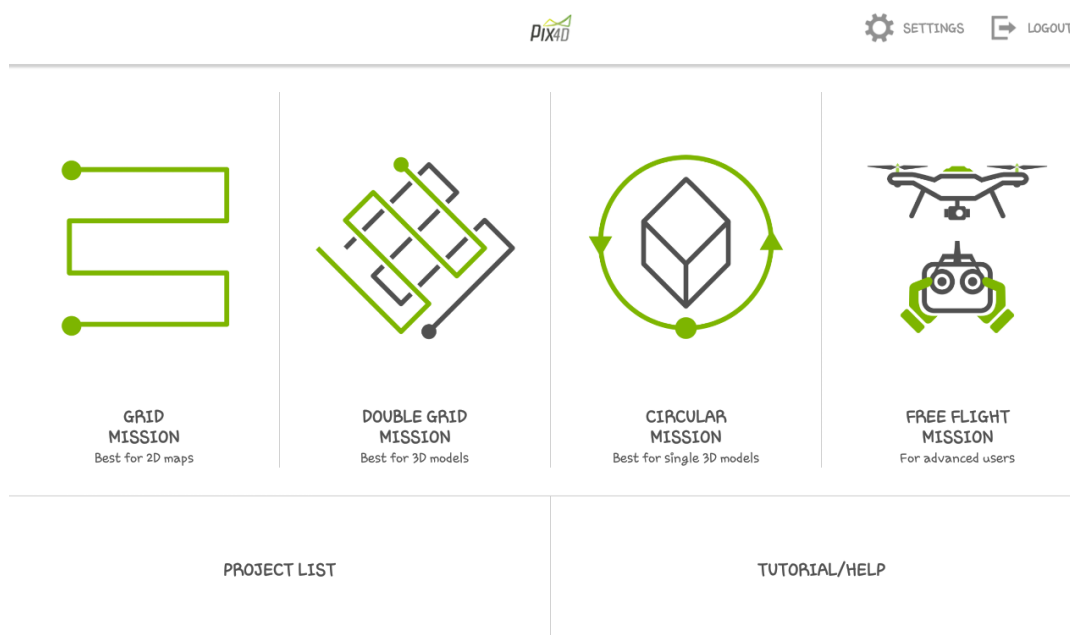
Grid Mission: Es la grilla que se usa ya que se necesita realizar la cartografía de la zona, la modelación 3D se realiza con el software fotogramétrico.

Double Grid Mission: Una misión con doble grilla, se puede tener vista por ambos lados, sin perder detalle, excelente para proyectos de modelación 3d.

Circular Mission: Misión circular, habilitada para que el UAV gire en círculos a una velocidad y radio previsto, sirve para realizar modelación.

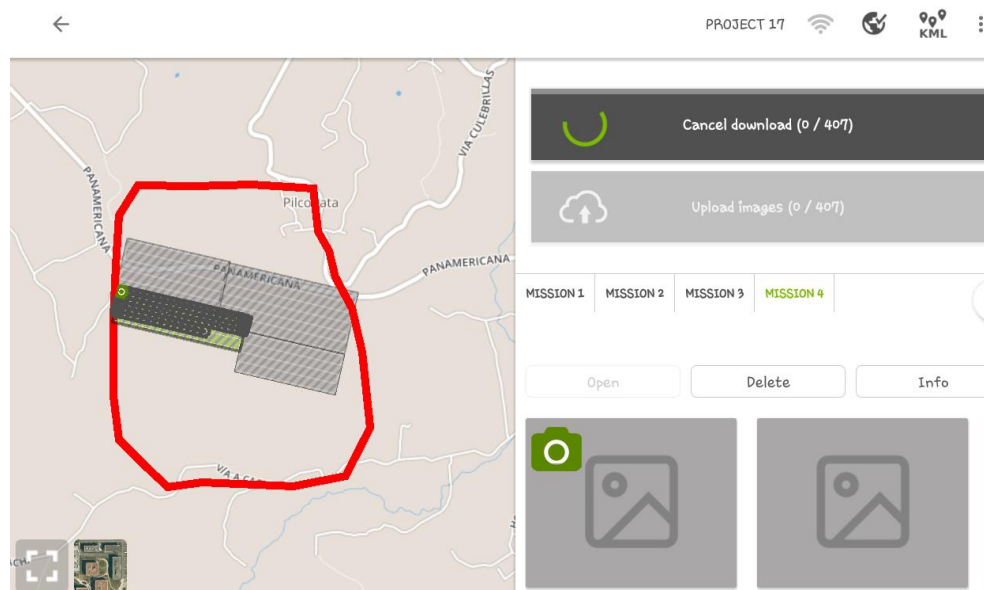
Free Flight Mission: Se realiza el vuelo y la toma de fotografías de forma manual, pues podemos llegar a tener mayor exactitud en la toma de fotos, perfecta para expertos en el vuelo.

Figura 63: PANTALLA PRINCIPAL Y MODOS DE VUELO



Una vez que se tiene el archivo de Google Earth en el dispositivo, se abre en *Project list*, en esta carpeta se encuentra todos los archivos KML/KMZ que se descargue, y en base a esta área de estudio realizar el plan de vuelo, en la pestaña *Grid Mission*.

Figura 64: PROJECT LIST



Nota: Aquí veremos nuestro archivo Kml/Kmz, exportado, en el signo + editaremos el plan de vuelo, además se puede Colocar los vuelos necesarios para cubrir la zona como se puede ver en la imagen.

Una vez que se empieza a realizar el plan de vuelo pertinente, ver en la pantalla distintos parámetros que se debe configurar como la altura de vuelo: para esta investigación después de varias pruebas a diferentes alturas, se escogió una altura de 90 m, ya que es óptima para este tipo de zona, por el gran tamaño de área y porque existen estructuras como antenas eléctricas en la zona, que dificultan el vuelo y pueden llegar a ser un impedimento si no se toma en cuenta y se realiza las medidas pertinentes, con esta altura se obtuvo un GSD “Ground Sample Distance” o tamaño de pixel de 4.5 cm/ px, esto quiere decir que cada pixel será de 4,5 cm de tamaño, este valor se computó usando la aplicación HFdron, que es una calculadora de parámetros que condicionan una misión de vuelo, gracias a este GSD se tiene una gran resolución en el procesamiento de este proyecto de investigación.

Figura 65: APLICACIÓN HFDRONE

HF Dron

Datos de entrada

Incógnita: Altura de Vuelo

Cámara: DJI Inspire 1 camera

Velocidad Dron (m/s): 15

Resolución esperada (cm/px): 4,5

Traslape Frontal (%): 70,4

Traslape Lateral (%): 70

Resultados

Altura de vuelo: 90 m

Tiempo entre imágenes: 2,3 s

Distancia entre imágenes: 33,98 m

Distancia entre líneas de vuelo: 54,00 m

Ancho que cubre una imagen: 180,000 m

Largo que cubre una imagen: 132,779 m

Área que cubre una imagen: 23893,620 m²

Calcular

Nota: La aplicación es bastante intuitiva, pues se debe colocar el tipo de UAV o cámara con la que contamos, la velocidad en la que realizara su recorrido en el vuelo, la resolución esperada, "≥5 baja resolución", "< 5 baja resolución", y se coloca calcular, la aplicación nos mostrar los parámetros exactos necesarios para conseguir esa calidad de imagen.

Figura 66: PLANIFICACIÓN DE VUELO EN PIX4D CAPTURE.




Nota: Antes de usar la aplicación autónoma el operador piloto del UAV deberá dominar el dron, lo cual no es complicado, con práctica, este requisito es indispensable, para salvar el aparato de cualquier error en vuelo.

Luego de planificar la grilla, con la altura de vuelo planificada y la velocidad, se debe tener en cuenta que para realizar fotogrametría y luego cartografía es recomendable volar con la cámara a 90 grados, estudios demuestran que realizar tomas a diferente ángulo ayuda a la obtención de modelación 3D.

Figura 67: PLANIFICACIÓN PIX4D CAPTURE



Nota: Importante verificar el punto de salida  ya que cuando acabe de realizar la misión el aparato este regresa a dicho punto, si este no se encuentra, se puede perder la nave.

Inmediatamente después de verificar todas las características explicadas anteriormente, empieza la misión, en la que el UAV recorrerá la grilla, a la altitud, velocidad y solape planificado anteriormente, siempre verificar que el aparato se encuentre conectado a más de ocho satélites, también se debe verificar la cantidad de batería del aparato y mando, además confirmar si el aparato cuenta con una memoria SD/car donde va a guardar todas las fotografías tomadas en vuelo, luego de esta recomendación se puede tocar el botón *START*, que lleva a la siguiente ventana, donde se conecta la aplicación con el aparato UAV.

Figura68: INICIO DE VUELO PIX4D CAPTURE**GRID MISSION**

Area to be mapped: 367 m x 372 m
 Flight altitude: 100 m above ground

Please connect to drone.



CANCEL

NEXT >

A esta instancia, aparece un “check list” de vuelo, (figura 60), el cual se debe cumplir y presionar por tres segundos el botón “*Take Off*”, el UAV despegara por sí solo, se dirige al punto de salida (bandera en el mapa) y empieza a recorrer la grilla tomando fotografías. Al finalizar el vuelo, el aparato regresa al lugar de despegue de misión; Consejo: siempre verificar las fotografías, si no se encuentran movidas o si están claras y con la resolución que es capaz de tomar la cámara. Algunos parámetros como la altura de vuelo al regresar a casa, formato de imagen y calidad, además de calibración del Drone realizarlo a través de la aplicación *DJI-GO*, en el caso de aparatos DJI como el usado en esta investigación, Ver (figura 71).

Figura 69: CHECK LIST DE MISIÓN DE VUELO**DRONE TAKEOFF CHECKLIST**

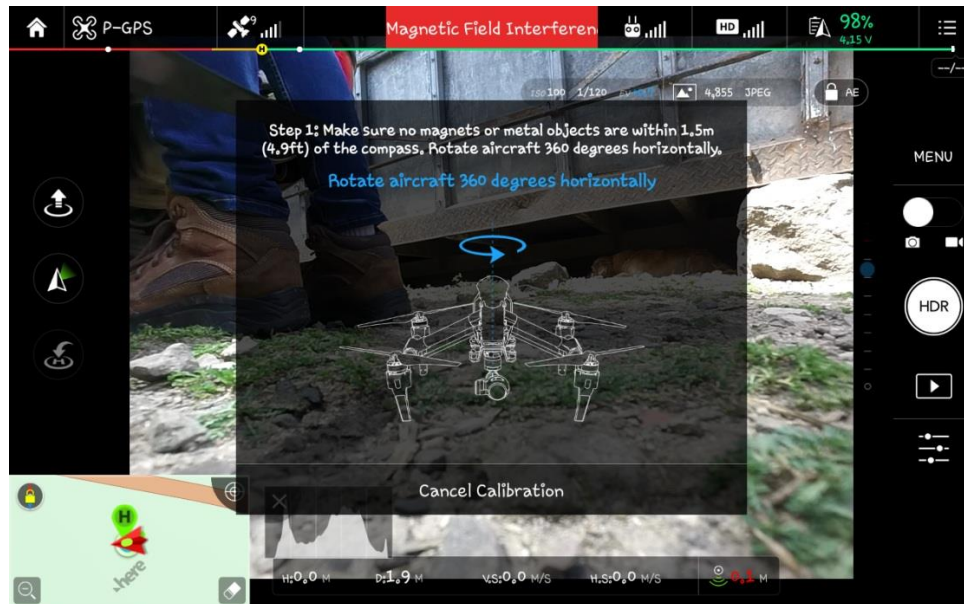
- | | |
|--------------------------------|--|
| ✓ Connected to drone | ⌚ Mission uploading to drone |
| ⚠ <u>Camera status unknown</u> | ⚠ <u>Drone SD card status unknown</u> |
| ✓ Drone is calibrated | ✗ <u>Drone GPS satellites (4/6)</u> |
| ⚠ <u>Homepoint not set</u> | ✗ <u>Switch is NOT on "F"-position</u> |
| ✓ Mission is within range | |



CANCEL

RESOLVE ISSUES TO TAKEOFF

Figura 70: CALIBRACIÓN UAV, APLICACIÓN DJI



Nota: La calibración del UAV es fundamental antes de realizar vuelos autónomos, en DJI-GO se puede además configurar características de batería, gimbal, velocidad, calidad de imagen, y es necesaria para recorrer el sitio e investigar la zona, captar imágenes de alta resolución y videos del lugar inestable.

✓ **DJI-GO: Aplicación de Fabrica**

Dji-Go es una aplicación gratuita, está destinada para todos los aparatos de la marca DJI, es muy intuitiva de usar, y es la aplicación con la que el piloto debe aprender a volar, es capaz de mostrar, aquellas características importantes de la nave, antes, durante y después de los vuelos, se descarga de la aplicación “Play Store” en caso de tablets o teléfonos de tecnología Android y en el caso de dispositivos IOS en la “App Store”.

Dentro de esta app, se realiza la calibración del aparato tomando en cuenta los siguientes consejos:

- Calibrar el UAV después de viajar durante mucho tiempo, por el sacudón o movimiento del vehículo.
- Calibrar el aparato cuando las luces led se tornen amarillas y titilantes.
- No calibrar el apartado cerca de objetos metálicos.

- No calibrar si tenemos celulares o antes cerca del aparato.
- No realizar la calibración del aparato en interiores.
- Si no está calibrada la brújula o el IMU, no calibrar el dispositivo antes.
- Seguir las indicaciones que nos muestra la aplicación DJI.

Para realizar la calibración de cualquier aparato DJI, se ingresa a la aplicación y registrar al piloto, después de aquello mirar la pantalla principal, encontrar en opciones la pestaña “calibrar” y mover el aparato, tomando el dron de la batería o del tren de aterrizaje y moverlo 360° en su propio eje de manera horizontal y vertical, como se muestra en la figura. (Figura 71), el proceso es bastante fácil de realizar y no requiere mayor explicación, pero es muy importante ejecutarlo para evitar inconvenientes, como el alejamiento descontrolado del aparato en el vuelo.

Por otro lado, cabe recalcar que todas las fotografías tomadas por el aparato y la aplicación Pix4d capture son guardadas en una memoria sd-card que lleva el aparato UAV, en el teléfono o tablet o si se dispone de internet se sube a la nube de pix4d Mapper.

1.5.16 Planes de vuelo para Investigación:

Para la investigación del deslizamiento activo Cachi se programa un plan de vuelo cercano a 170 hectáreas de levantamiento aproximadamente, con Drone Inspire 1 de la marca DJI, se realiza 12 misiones de vuelo, con el fin de volar la mayor parte de zona inestable, se usarán 7 baterías, con un total de 1748 fotografías aéreas tomadas por el aparato y el tiempo en campo es de aproximadamente dos horas, se usó una Tablet de tecnología Android.

Figura 71: CARACTERÍSTICAS DE LA PLANIFICACIÓN DE MISIONES CON PIX4D

		Dimensiones en Pix4d Capture			
Numero	Pasadas	x (m)	y (m)	Tiempo de vuelo	Imágenes
1	6	439	169	5 min: 36 s	119
2	7	572	260	9 min: 52 s	214
3	6	449	217	7 min: 24 s	144
4	4	556	131	4 min: 9s	106
5	7	590	248	9 min: 40 s	215
6	6	462	242	7 min: 51s	162
7	5	520	168	6 min: 40s	141
8	7	547	235	9 min: 02s	188
9	2	547	39	4 min:00s	90
10	7	458	252	8 min: 51s	188
11	3	520	65	4 min: 23s	93
12	2	517	25	3 min: 54s	85

Nota: Los planes de vuelo fueron planificados para cumplir con el área programada de levantamiento, a una altura de 90m, que fue como la planificamos anteriormente.

Se decide realizar vuelos cortos, ya que en la zona inestable existe vientos fuertes de aproximadamente 45 Km/h, con el objetivo de cuidar el aparato UAV se resuelve en campo, realizar varios vuelos con baterías cargadas al 100 % , de esta manera el UAV usa estas cargas para estabilizarse, además de contar con carga suficiente para regresar al punto de partida con viento en contra, en caso de presentarse este tipo de pronósticos, se recomienda ser buen piloto tener varias baterías y optar por un plan de vuelo que se ajuste la zona.

Posteriormente y para darle un plus a esta investigación entendiendo bien que no es el propósito de presentar un manual, pero si un procedimiento eficiente para que el ingeniero sepa obtener los datos de geo-información mediante UAV de bajo costo y pueda usarlos como herramienta en la evaluación y estudio del macro-deslizamiento denominado “Cachi”.

CAPITULO VI

PROCESAMIENTO AGISOFT PHOTOSCAN

○ DEFINICIÓN:

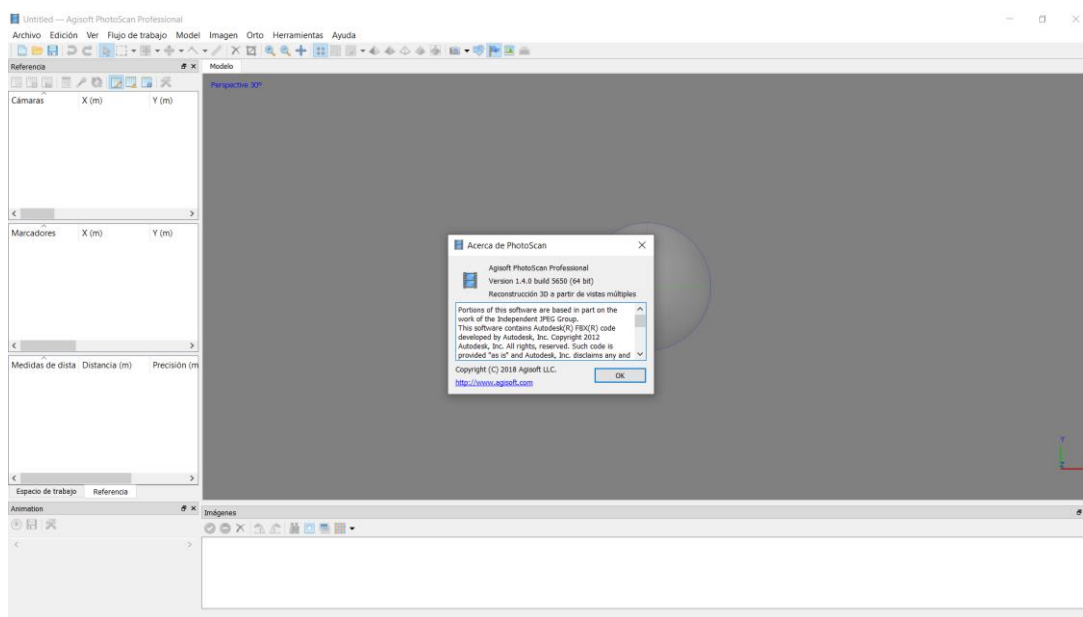
Agisoft PhotoScan es un software de escritorio que es capaz de procesar imágenes, mediante técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, cuyo objetivo es generar una reconstrucción 3D del entorno. (Agisoft,2018)

Proceso:

Agisoft es una herramienta bastante completa, a primera vista vemos un software bastante básico, (Figura 73), el software que se usa en esta investigación se encuentra en la versión 1.4.0 (64 bits), idioma (Español), o poder usar la versión de prueba por 30 Días, más información en el siguiente link: <http://www.agisoft.com/>.

Para esta investigación se usa los siguientes pasos a seguir para generar, cartografía además de modelos 3D, entre otros, esto con el fin de que sea un plus dentro de la investigación.

Figura 72: PANTALLA INICIO SOFTWARE AGISOFT DE PHOTOSCAN



Este proceso se realizó usando varias computadoras laptop con características similares:

Sistema Operativo: Windows 10 home 64 bits.

Fabricante de

l sistema: Lenovo.

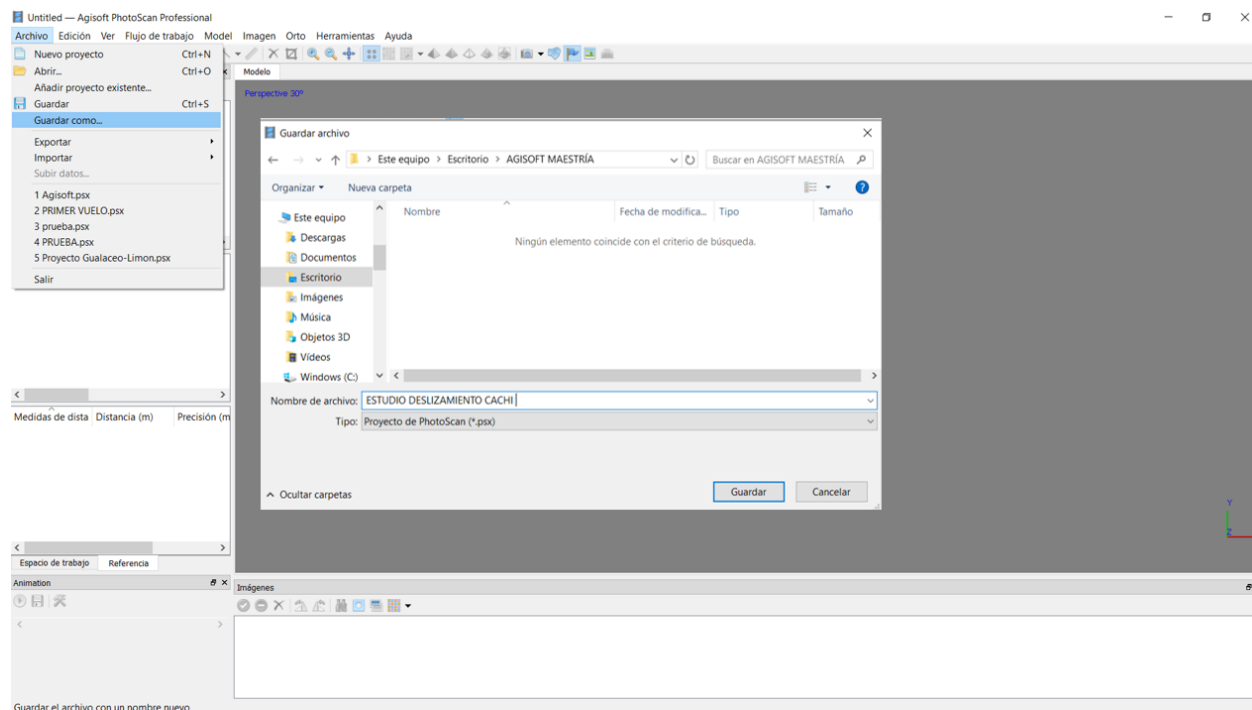
Procesador: Intel ® Core ™ i7-6500U CPU @ 2.50GHz, (4 CPUs).

Características: Disco sólido, y tarjeta Nvidia Geforce 940 MX y Intel® HD Graphics 520.

Es importante procesar los datos en una maquina con estas características mínimas, pues son características necesarias que piden los fabricantes de los softwares de fotogrametría, si no se cuenta con una PC de las características presentadas, será muy difícil realizar los procedimientos siguientes:

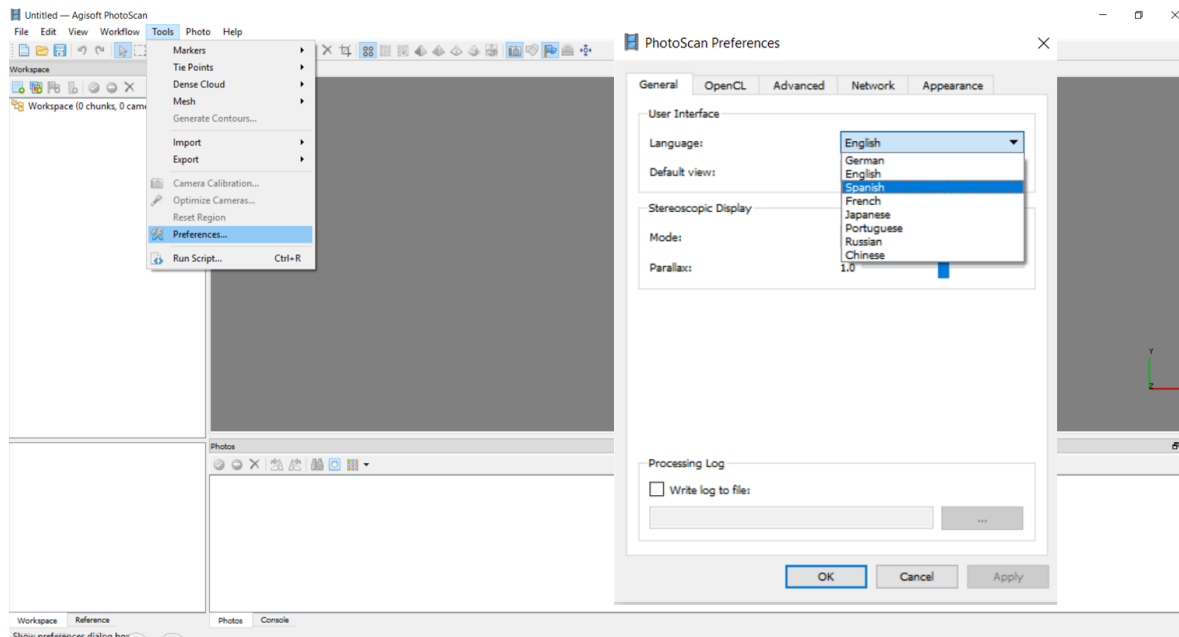
Como primer paso, después de abrir la herramienta Agisoft, se crea un archivo con la herramienta “Guardar como”, de la siguiente manera:

Figura 73: CREAR UN NUEVO PROYECTO



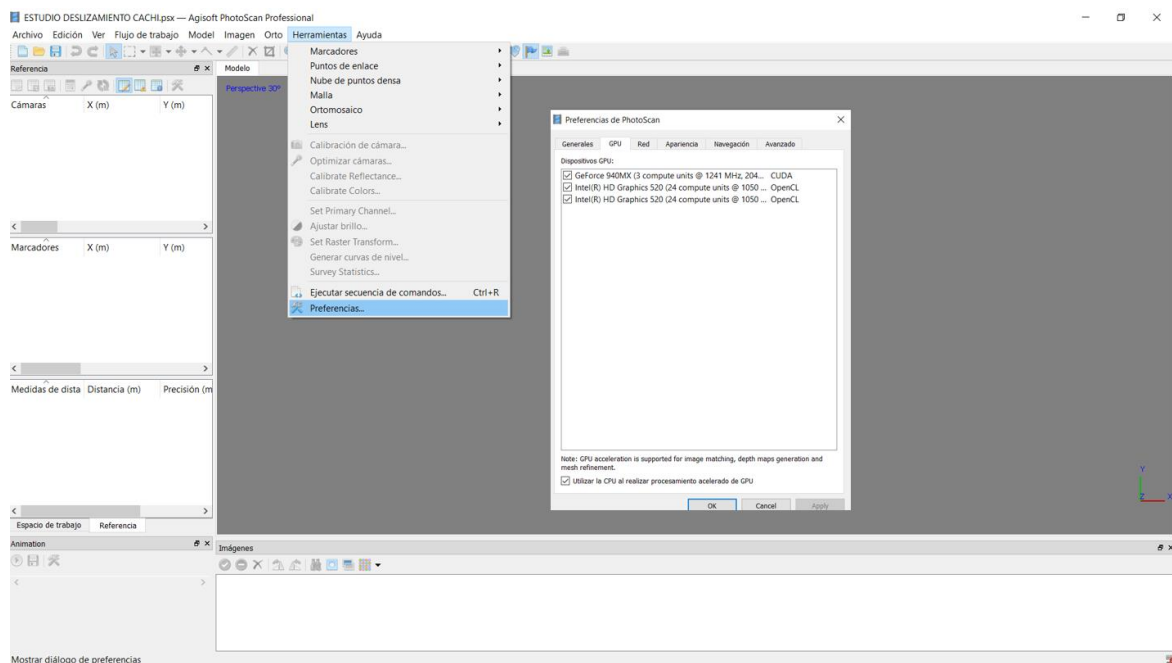
Si la herramienta se encuentra en inglés, se edita de la siguiente manera:

Figura 74: ELEGIR IDIOMA



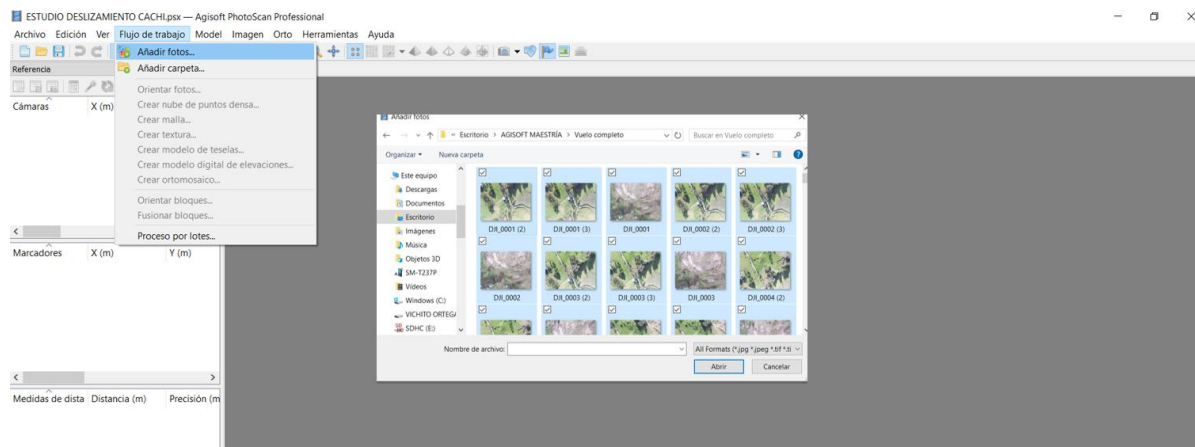
Antes de realizar cualquier proceso, se debe configurar el procesador gráfico que va usar la Pc para realizar los procesamientos.

Figura 75: OPENCL-EL LENGUAJE DE COMPUTO ABIERTO DEL CPU



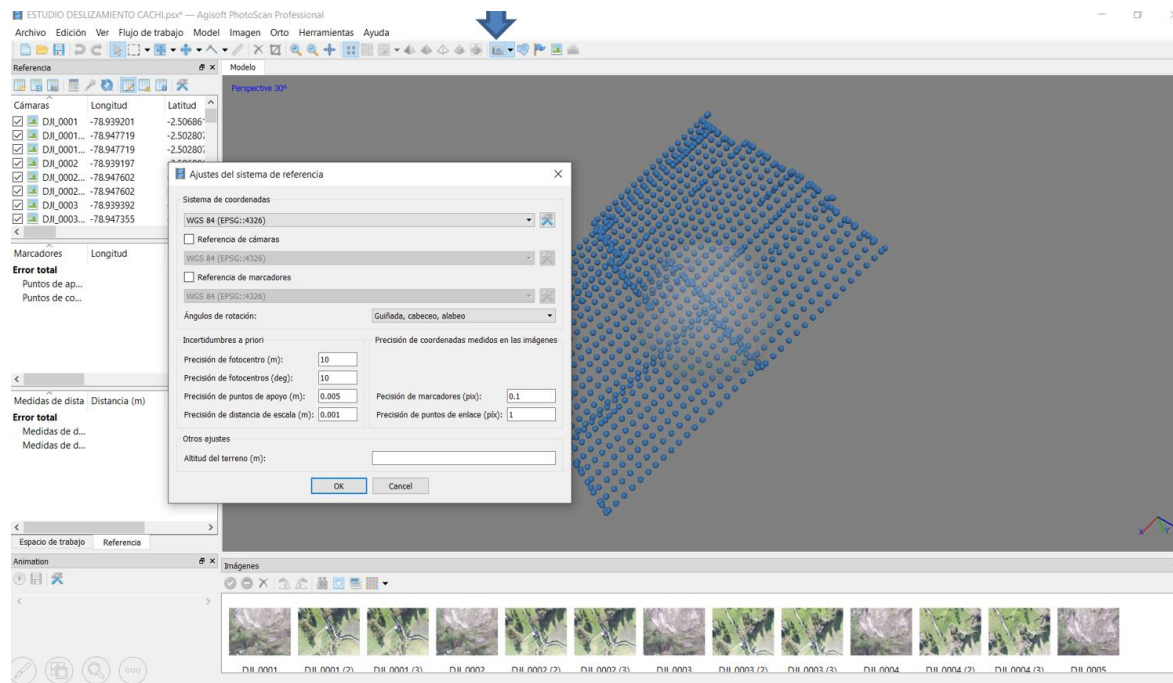
Ahora añadir fotografías desde la pestaña *flujo de trabajo*- *añadir las fotografías*, en la carpeta de imágenes, se puede ver el número de las mismas y confirmar con ctrl+E para señalar todas.

Figura 76: IMPORTAR FOTOGRAFÍAS



En la pestaña *ajustes* dentro de “espacio de trabajo”, podemos observar que las fotografías se encuentran en sistema de Coordenadas Geográficas WGS-84, en las que te trabajaremos.

Figura 77: Sistema de coordenadas en Agisoft

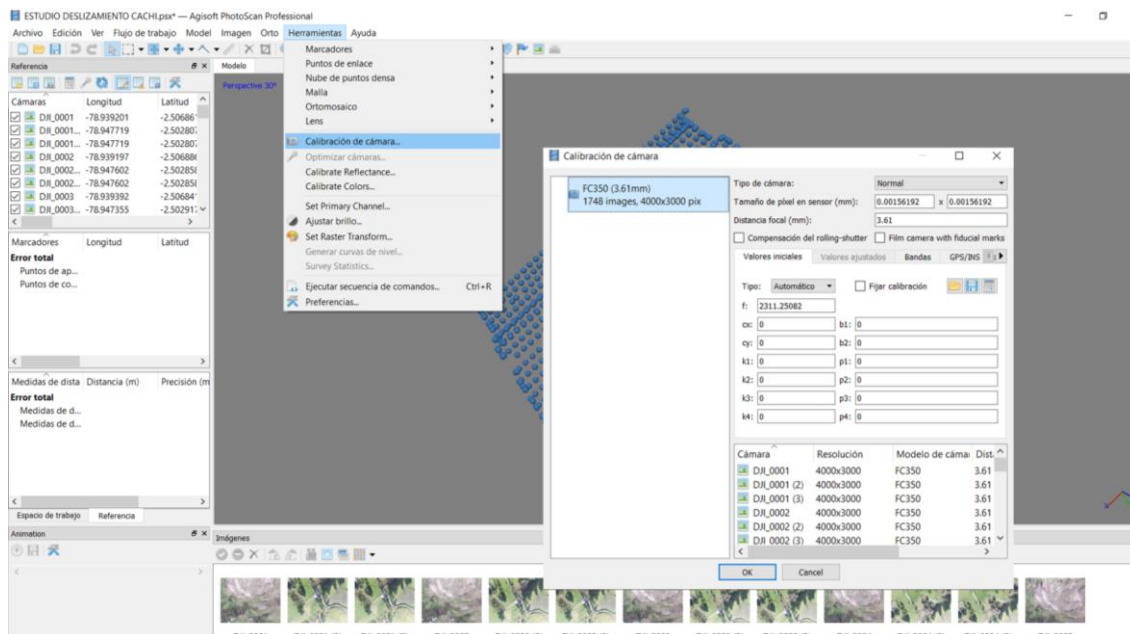


Nota: Para ver posición de cámaras, dar click en la posición de cámaras ubicada en la paleta principal.

Si se desea trabajar en otro tipo de coordenadas solo buscaremos en la paleta.

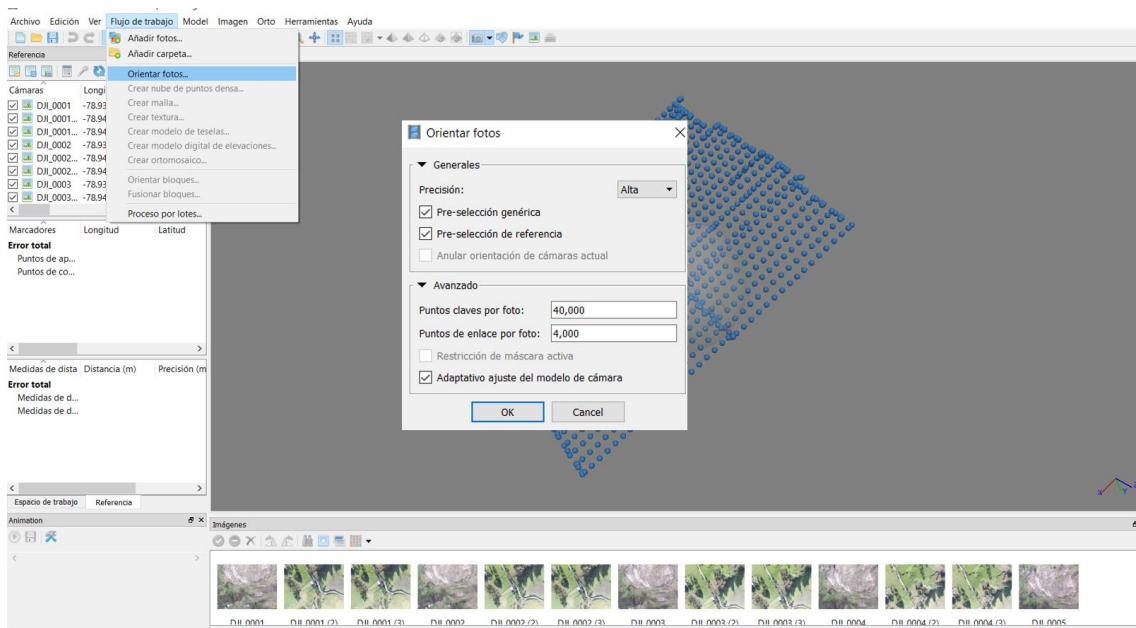
Calibrar cámaras, es una exigencia cuando tenemos aparatos con cámaras diferentes, en este caso el software automáticamente detecta la cámara del Inspire 1 y sucede lo mismo con todos los aparatos de la marca DJI.

Figura 78: CALIBRACIÓN DE CÁMARAS



Realizar la orientación de fotos, necesaria para que organice las fotografías y las oriente según sus coordenadas:

Figura 79: ORIENTACIÓN DE CÁMARAS



Nota: Ahora, se debe activar *pre-selección de referencia* y *pre-selección genérica*, ya que trabajar con las coordenadas de las fotografías y las coordenadas de los puntos GCP, En la pestaña “*avanzado*” dejar por defecto, este proceso tarda entre 30 m y 1 hora, depende de la cantidad de fotografías y respuesta de máquina.

Figura 80: ORIENTACIÓN DE CÁMARAS

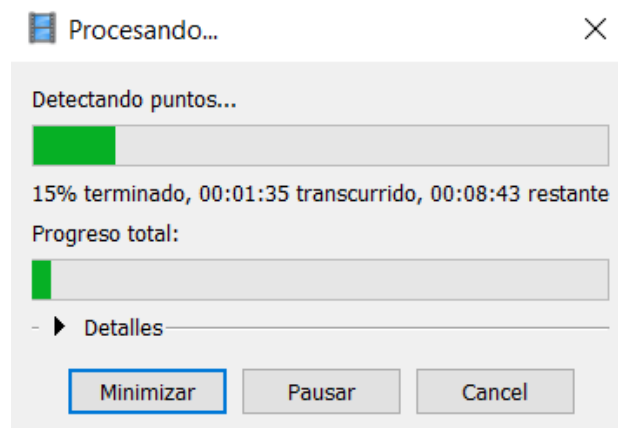
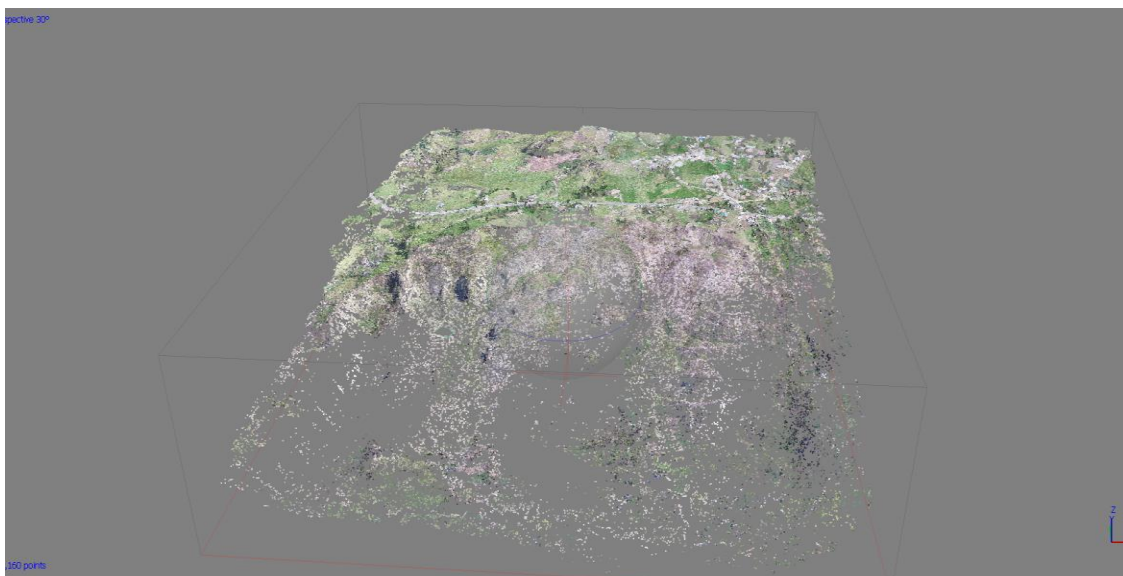


Figura 81: ORIENTACIÓN TERMINADA, RESULTADO



Nota: Al terminar lo que veremos es una nube de puntos no densa, que nos indica que encontró coincidencia entre ella y que se encuentran Orientadas correctamente

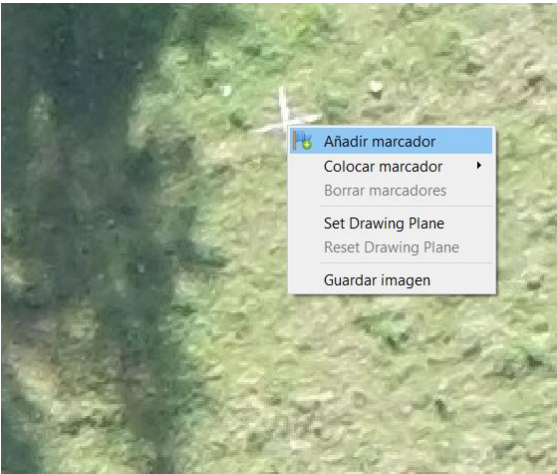
Distribución de GCP en las imágenes y software: Dar clic en cualquier Imagen y buscar la señal en campo, es decir el punto preciso donde se toma el punto GPS, y nombrar, se

recomienda nombrar como GCP1, GCP2, GCP3, etc... Para ubicar dicho punto, se debe realizar clic derecho- crear marcador y colocar el nombre, de esta manera:

Figura 82: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS GCP EN EL SOFTWARE



Figura 83:AÑADIR MARCADOR



Nota: Colocar marcador en el centro de la “X”, usar zoom para tener precisión

Figura 84: UBICACIÓN DE NÚMERO DE MARCADOR



Al colocar nuestro punto de control, notar que en la caja de imágenes en algunas fotografías aparecerá una *bandera azul* y una *marca plateada* como se ve en las siguientes imágenes.

Figura 85: MARCA PLATEADA

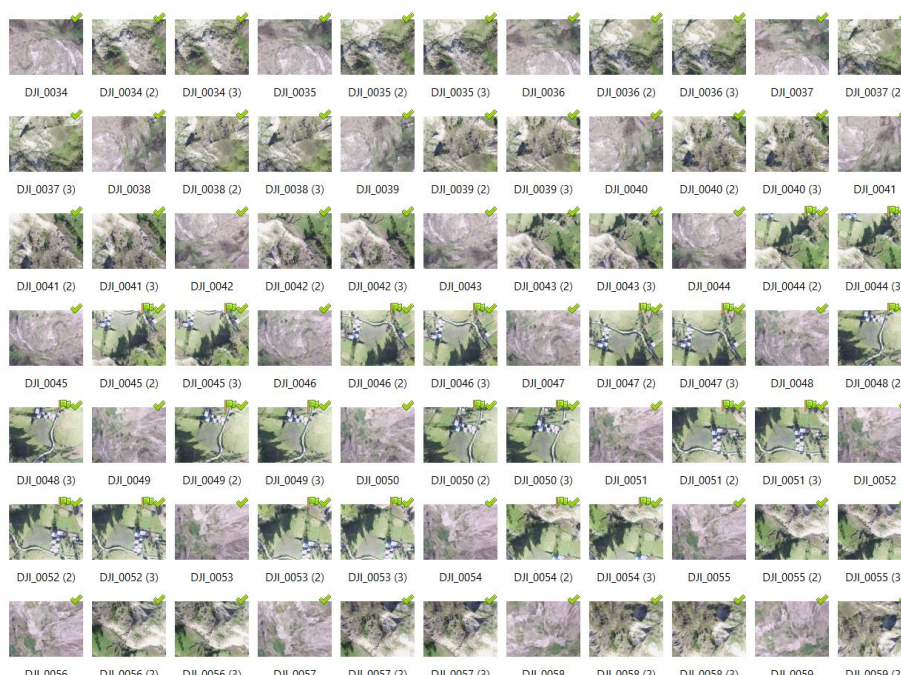


Nota: la marca plateada aparece cuando el software no reconoce al 100 % el punto entre fotografías, lo que nos quiere decir es que ubiquemos en el punto exacto, una vez hecho esto, aparecerá una bandera verde, que nos indica que calibramos el punto con éxito.

Figura 86: MARCA BANDERA AZUL

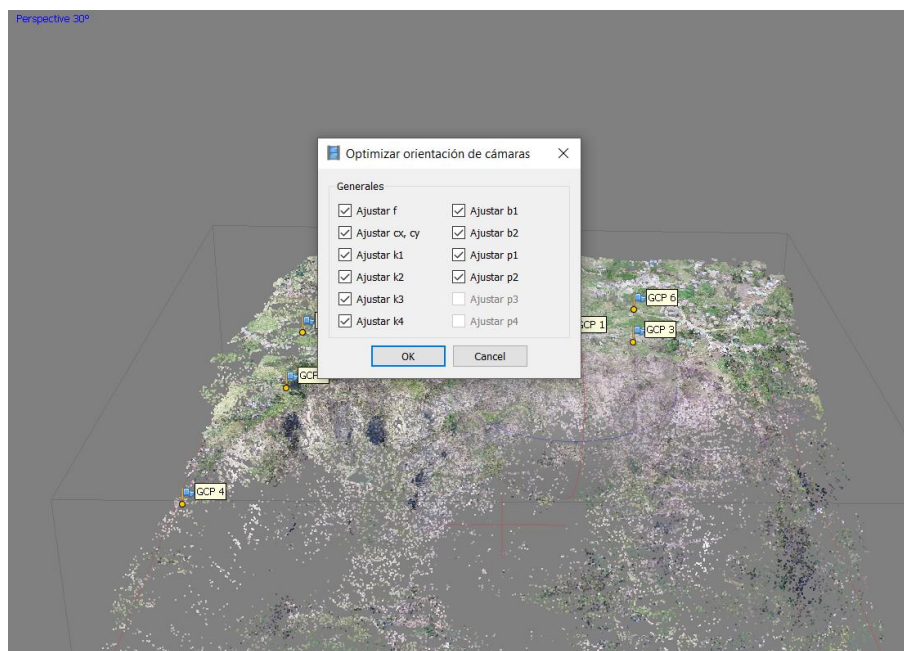


Nota: Bandera azul significa que Agisoft reconoció el punto, pero necesitamos afinarlo, y colocarlo en el punto exacto.

Figura 87: MARCAS CORREGIDAS CORRECTAMENTE

Nota: Comprobar que las fotografías tengan banderas verdes.

El siguiente paso a seguir es el de optimizar cámaras, se coloca sobre ellas puntos de control terrestres, *Herramientas - Optimizar cámaras*.

Figura 88: Optimizar cámaras

Nota: La optimización de cámaras puede demorar entre 10 -15 minutos.

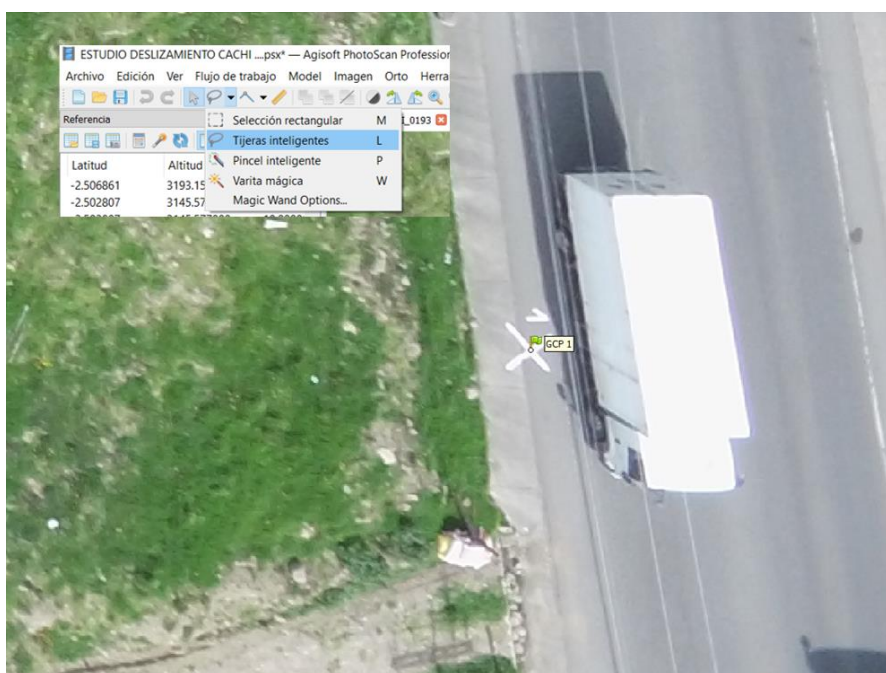
Verificar el error de los puntos de control y el error en pixeles que se obtienen en el procesamiento, cabe recalcar que para una consultoría de un área tan grande no siempre se necesita demasiada precisión, en este proyecto se obtuvo un error de 0.53 metros y un error pixel de 0.59, que se cree es suficiente, insistiendo que si se desea más precisión se lleva a campo una estación GPS-RTK y realizar el mismo procedimiento.

Figura 89: Detalle GCP

Marcadores	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)	Proyecciones	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 2	-78.945222	-2.502038	3054.000000	0.005000	0.748213	29	1.052
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 3	-78.940788	-2.502944	3082.000000	0.005000	0.752770	24	0.664
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 4	-78.949260	-2.506302	2978.000000	0.005000	0.146757	16	0.179
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 5	-78.947503	-2.503226	3020.000000	0.005000	0.297966	45	0.415
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 6	-78.940422	-2.501406	3074.000000	0.005000	0.449458	48	0.366
<input checked="" type="checkbox"/> GCP 7	-78.947155	-2.501372	3041.000000	0.005000	0.505522	12	0.585
Error total							
Puntos de apoyo					0.531873		0.591

En el caso de que exista vehículos en movimiento lo recomendable es dar clic en la fotografía donde se encuentra el o los vehículos, luego en la *paleta principal*, escoger *tijeras inteligentes* y *recortar*, en seguida *añadir este recorte a mascara* y *optimizar cámaras* de la siguiente manera:

Figura 90: HERRAMIENTA TIJERAS INTELIGENTES



Nota: Al escoger esta herramienta nos permitirá recortar el vehículo

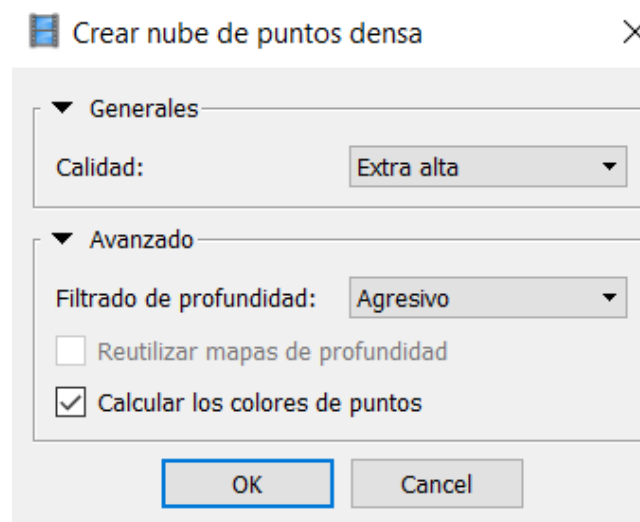
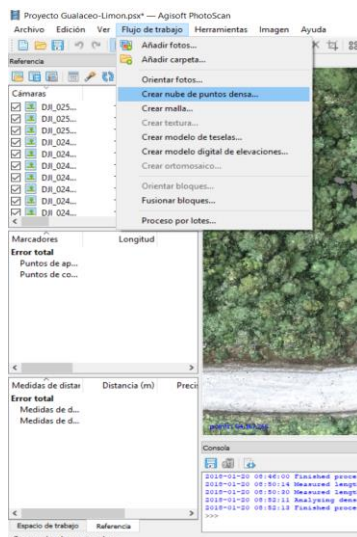
Figura 91: AÑADIR O CORTAR MASCARAS



Nota: De esta manera estos objetos no intervendrán en los procesos posteriores.

- ✓ **Creación de nube densa:** Es fundamental para la obtención de una modelación, se encuentra en *Flujo de trabajo - Creación de nube densa* y seguir los pasos de la imagen siguiente:

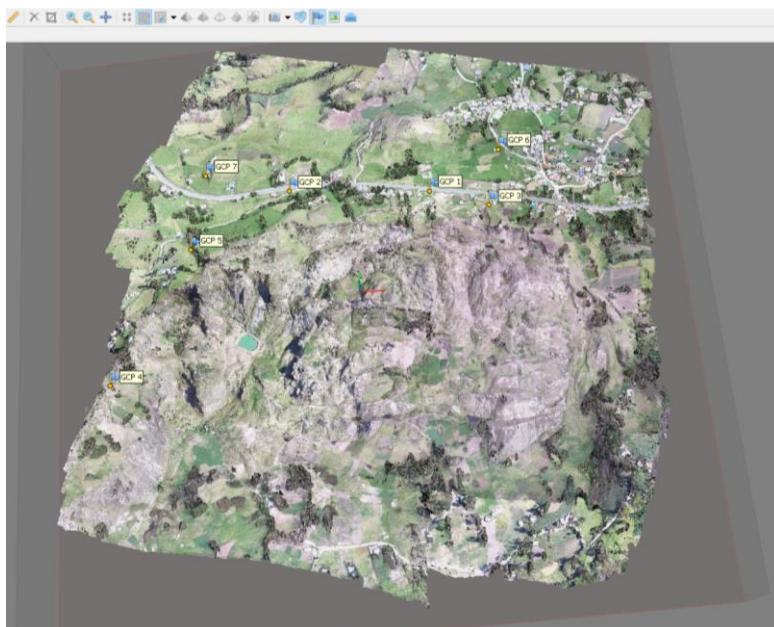
Figura 92: CREAR NUBE DE PUNTOS DENSA



Nota: Calidad: extra alta puede llegar a dura entre 2 o 3 horas su proceso, filtrado: Agresivo (tarda 2 horas más), pero también en calidad se puede escoger entre Moderado, alto, o bajo, para esta investigación resolvimos trabajar con calidades altas con el fin de presentar una buena modelación.

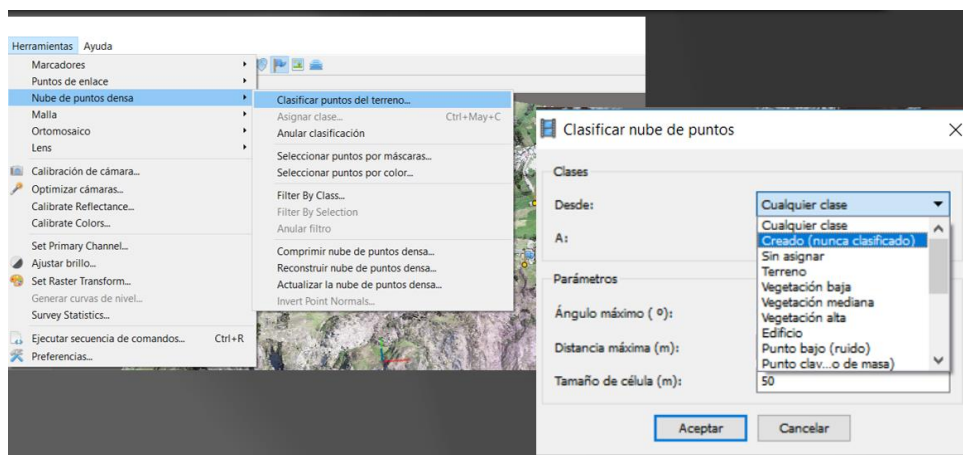
Luego de haber transcurrido cinco horas de procesamiento se tiene la modelación 3D de nube de puntos densa, y se puede observar toda la zona desde nuestro computador a gran resolución y desde cualquier perspectiva deseada.

Figura 93: RESULTADO DE LA NUBE DE PUNTOS



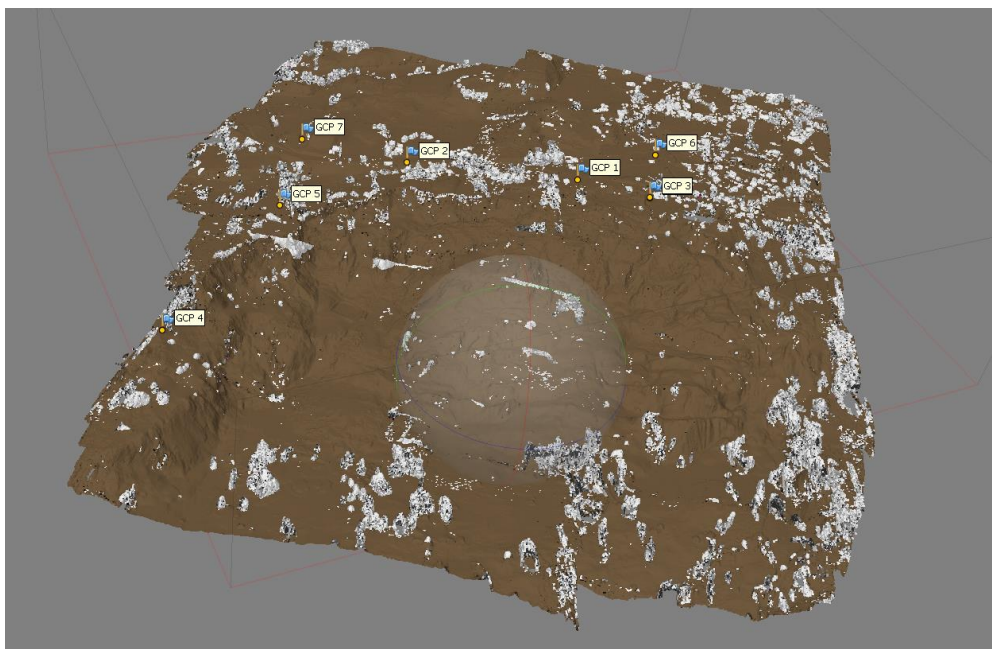
- ✓ **Depurar nube de puntos densa:** Para clasificar el terreno de cualquier objeto, estructura o vegetación de la zona, es necesario depurarlo, para realizar este proceso se debe ir hasta la pestaña de *Herramientas- Nube de puntos densa- clasificar terreno- desde creado (Nunca Clasificado)*.

Figura 94: Clasificación de la Nube de puntos



Nota: Siempre escoger la pestaña creado nunca clasificado ya que casi siempre será la primera vez que procesamos determinada zona y se va a clasificar.

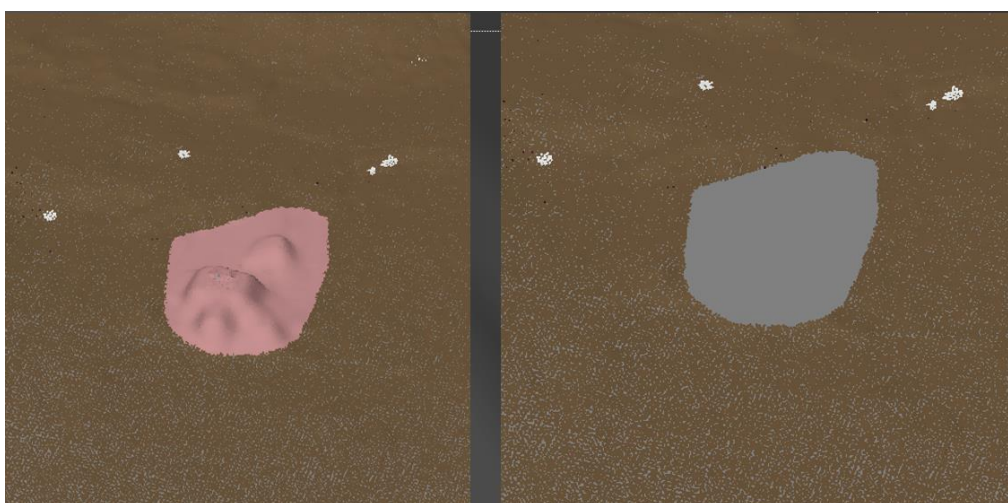
Figura 95: DENSIFICACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS



Nota: Todo lo que se encuentra en color blanco el software no lo identifico como terreno de tal manera que lo eliminara.

Si el software no identifico automáticamente algunos elementos o estructuras, Agisoft permite al usuario a realizar esta limpieza de forma manual, para ello en la paleta principal elegir el ícono de selección de forma- Seleccionar de forma libre- señalar lo que se requiere eliminar- y suprimir para quitar de la modelación:

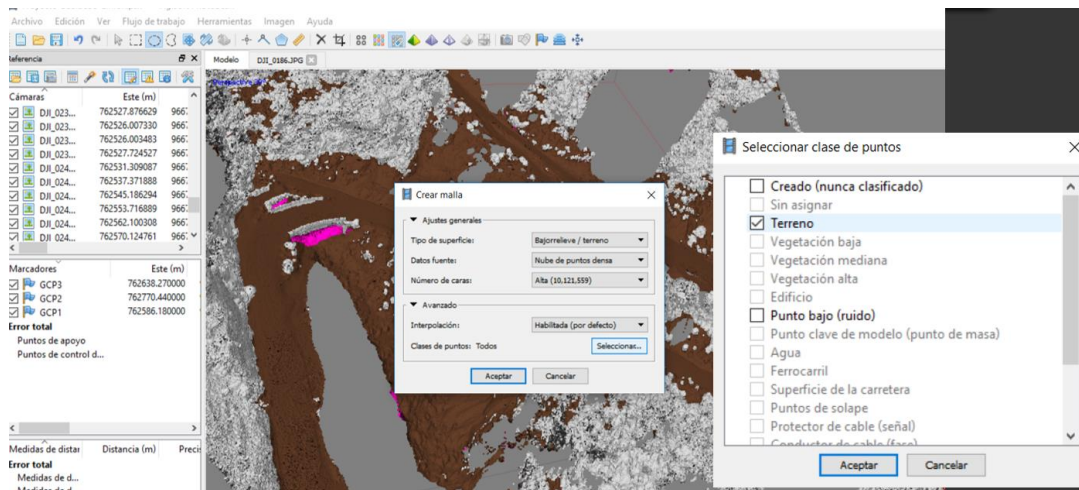
Figura 96: ELIMINACIÓN DE OBJETOS MANUALMENTE



Nota: Este proceso puede ser tan afinado como se desee al eliminar manualmente, se puede tener más detalle.

- ✓ **Crear Malla:** Para realizar este proceso en la pestaña de flujo de trabajo- Crear malla, y seguir los pasos de la imagen siguiente.

Figura 97: CREACIÓN DE MALLA



Nota: Tener en cuenta que en clase de puntos debemos escoger solo terreno, que es lo que nos interesa.

Después de haber realizado todo este proceso, revisar y visualizar los tipos de mallas que se obtiene, desde la paleta principal dando clic a los iconos: Color, Sombreado y alambre.

Figura 98: RESULTADO MALLA DE COLOR

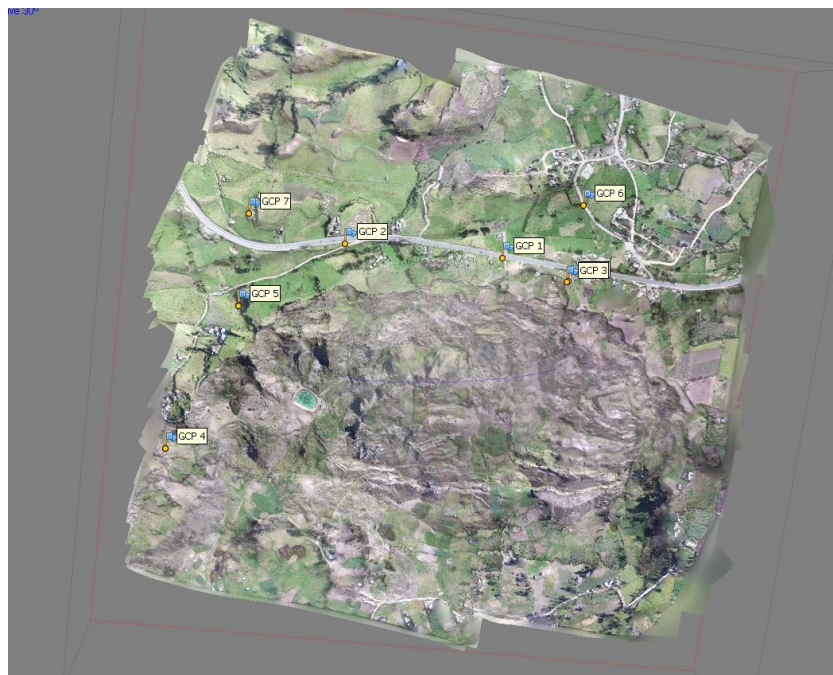
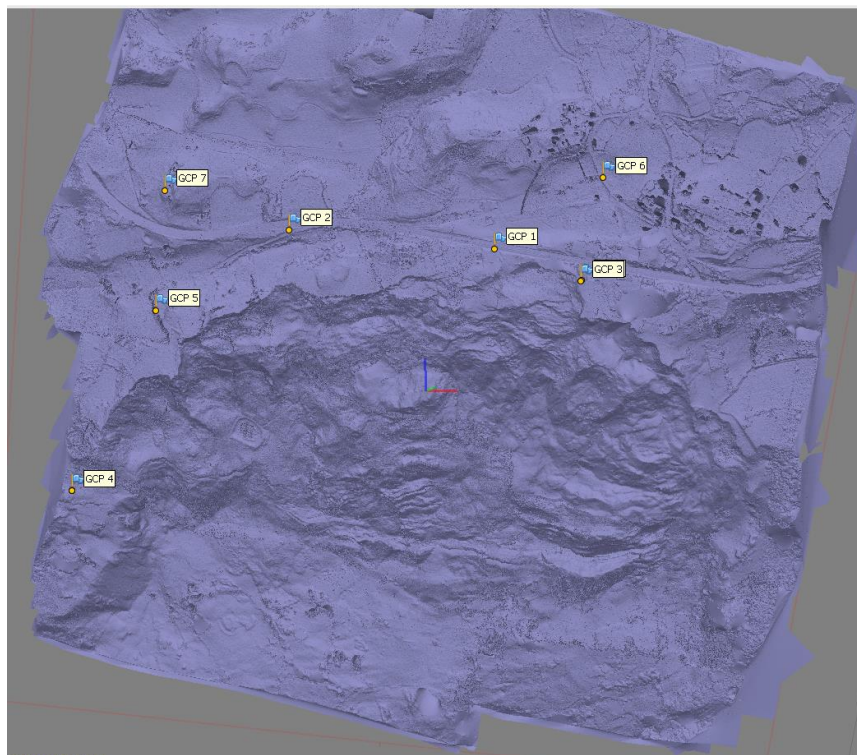
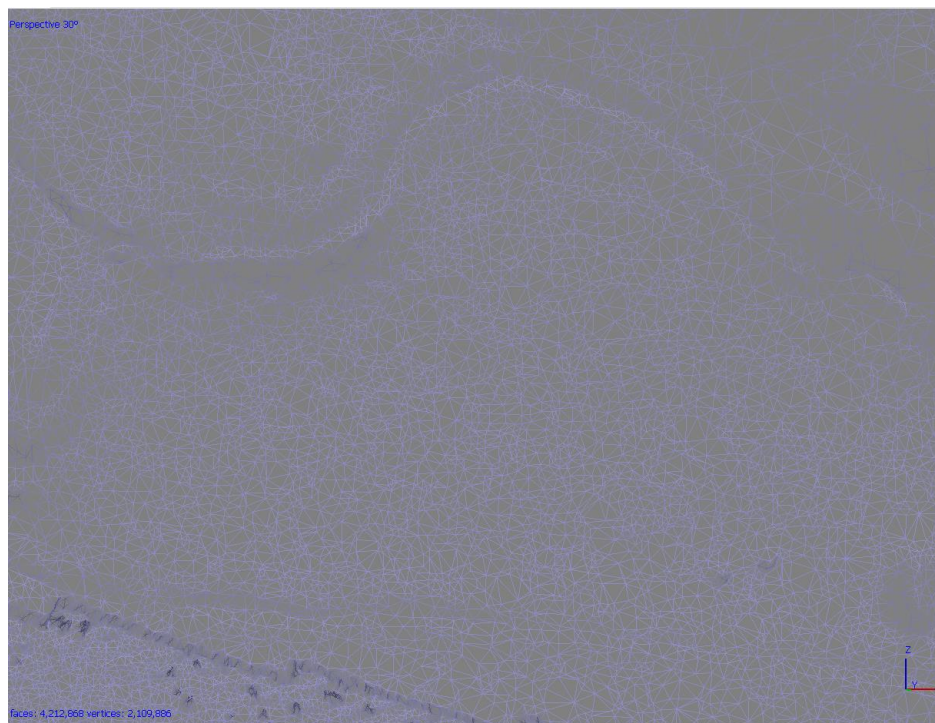


Figura 99: RESULTADO- MALLA DE SOMBRA

Nota: Esta malla es una buena manera de ver la topografía de la zona y sus altas pendientes.

Figura100: RESULTADO- MALLA DE ALAMBRE

- ✓ **Ortomosaico:** Como siguiente paso ya es posible generar la ortofoto del lugar, esto lo realiza desde *flujo de trabajo* – crear **Ortomosaico**.

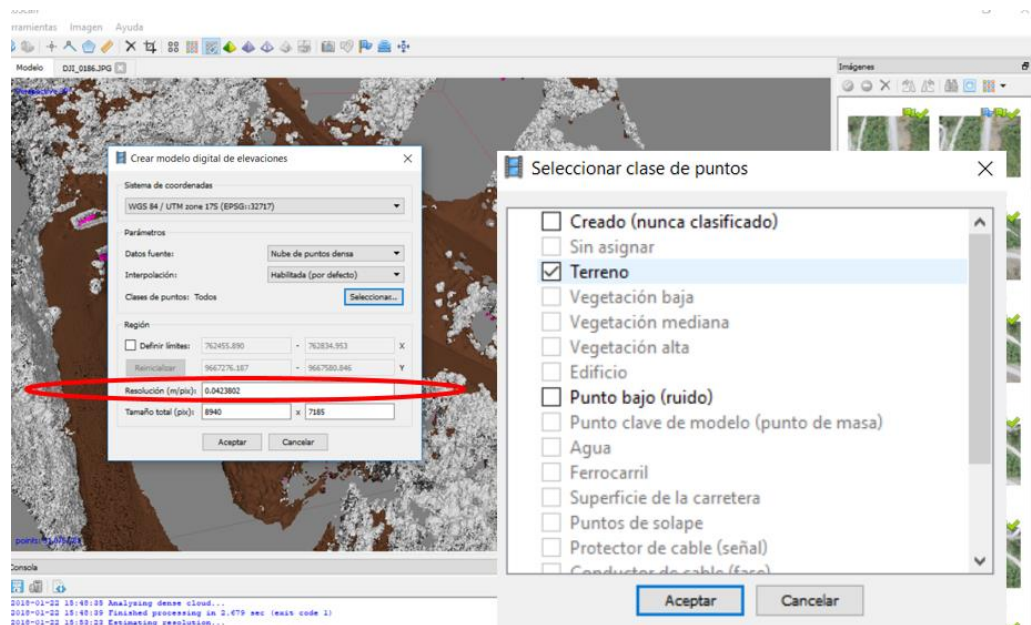
Figura 101: Crear Ortofoto

○ **Creación del MDE:**

El MDE se realiza desde *flujo de trabajo*, consejo: No realizar curvas de nivel con un Modelo de elevación de alta calidad, sobre todo dentro del software, ya que la alta calidad de la misma confunde puntos de altura “z”, se recomienda cambiar si es necesario la calidad del DEM para obtener posteriormente las curvas, al hablar de calidad, se habla de precisión del pixel, se considera importante obtener un DEM de alta calidad para los diferentes usos en otros softwares, en pocas palabras, se debe crear dos DEM uno con la precisión de pixel normal y otra con precisión de pixel de 0,23 m/pix. Este cambio se realiza dentro del círculo color rojo de la siguiente imagen, se debe siempre estar pendiente de seleccionar el procesamiento de solo el *terreno*, al terminar contar con un MDT de precisión y poder usarlo en otros softwares. Para

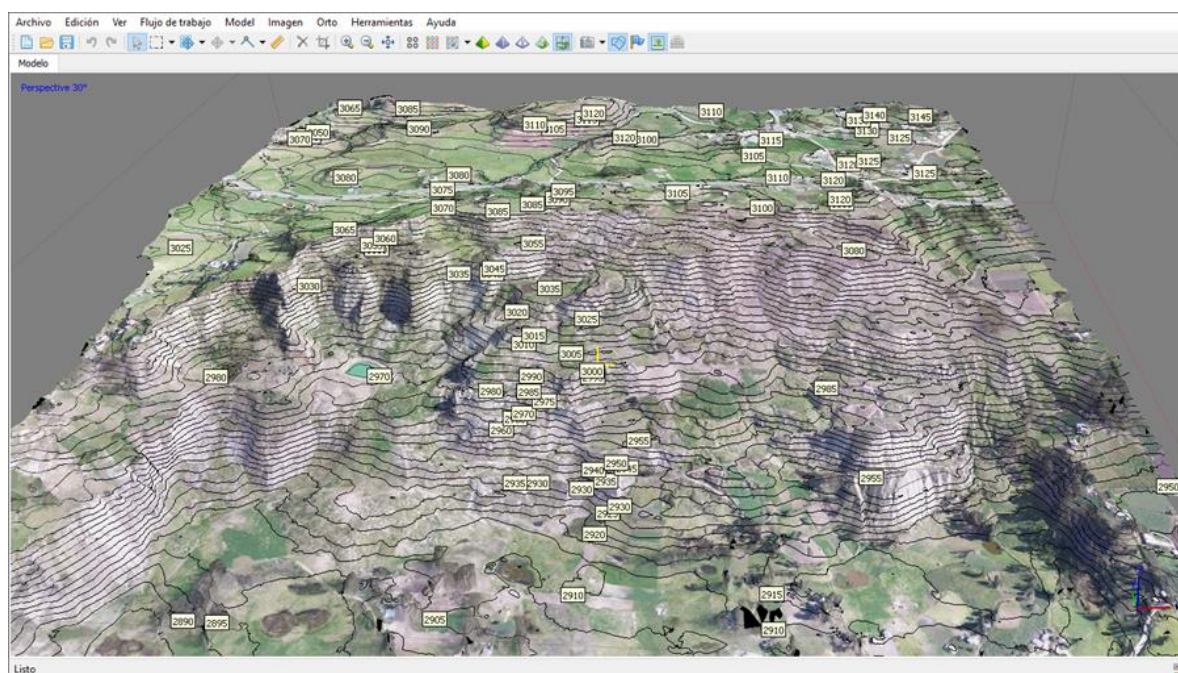
la creación de la curva de nivel con el MDT de baja resolución se usará otros softwares los mismo que los observaremos posteriormente.

Figura 102: CREAR MDE



Luego de haber creado el DEM se puede crear curvas de nivel, desde la pestaña herramientas y exportar estas curvas en el formato deseado, pero como se comenta anteriormente no es aconsejable para aquello usar herramientas de tipo SIG.

Figura 103: Curvas de nivel o contornos

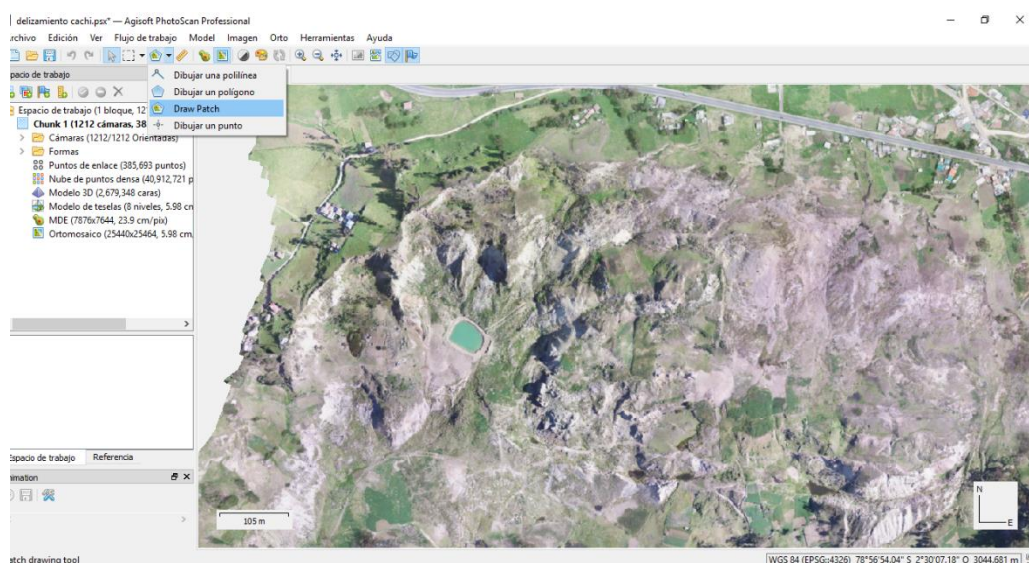


Nota: Las curvas de nivel en este software vienen etiquetadas con datos de Elevación.

○ Volúmenes:

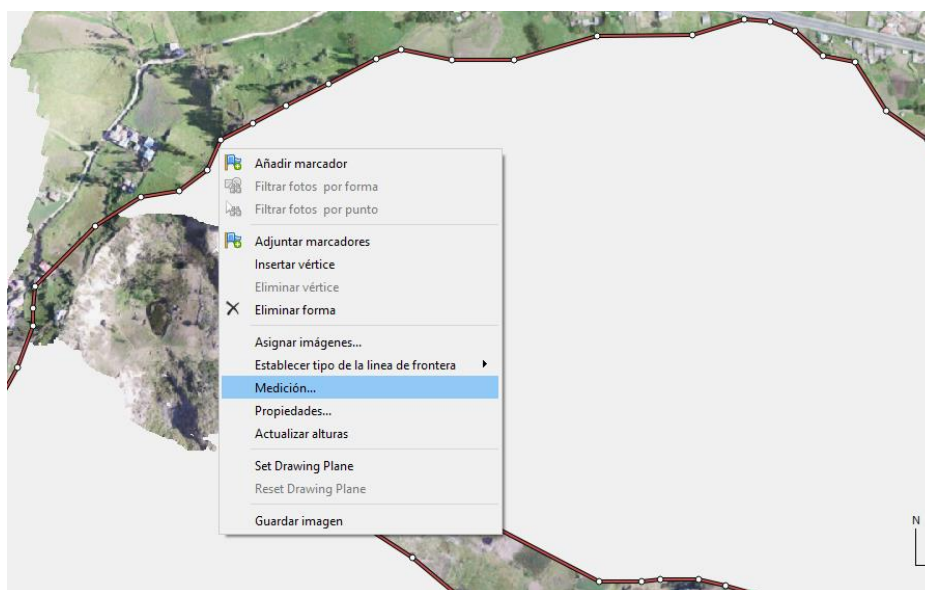
Por último, el software permite obtener volúmenes bastante precisión con la ayuda de los puntos de control en superficie y las coordenadas de la nube de puntos, los datos son determinados por la técnica de triangulación, la herramienta es sencilla en la paleta principal buscar las herramientas de polígono, como se muestra, clic en *Draw patch*:

Figura 104: MARCAR ÁREA DE VOLUMEN A MEDIR



Inmediatamente, se marca el perfil del volumen que se desea medir en este caso la masa desplazada, y al terminar de formar un polígono se da clic izquierdo y medir, así:

Figura 105: Calculo de volúmenes



Inmediatamente el software empieza a calcular, estos resultados pueden ser exportados a diferentes tipos de formatos, el detalle de los volúmenes se muestra de la siguiente manera:

Figura 106: RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLÚMENES

Vértice	Longitud	Latitud	Altitud (m)
1	78°56'59.67" S	2°30'30.45" O	2943.120
2	78°56'56.59" S	2°30'28.17" O	2954.095
3	78°56'55.25" S	2°30'25.66" O	2962.989
4	78°56'55.73" S	2°30'22.93" O	2984.823
5	78°56'55.73" S	2°30'21.03" O	3002.032
6	78°56'55.92" S	2°30'19.79" O	3018.992
7	78°56'55.32" S	2°30'18.48" O	3026.827
8	78°56'55.21" S	2°30'18.04" O	3030.072
9	78°56'54.02" S	2°30'16.50" O	3032.287
10	78°56'53.24" S	2°30'15.83" O	3039.479

Nota: Se recomienda tomar puntos de control si es posible sobre la zona deslizada con el fin de obtener un cálculo de volumen con mayor precisión.

Una vez creados todos los Procesos, este software permite exportar estos pasos realizados en muchos tipos de formato: nosotros los exportar de la siguiente manera:

Desde archivo – exportar:

Nube de puntos densa - Exportar en formato .las

Modelo – Exportar en formato. Obj, Fbx.

Ortomosaico- Exportar en los formatos - JPG, TIFF.

DTM- Exportar en formato TIFF.

Y generar un informe en formato “PDF”, los softwares son bastantes completos y nos permiten generar un informe sobre todos los procesamientos realizados. Ver informe (ANEXO-3).

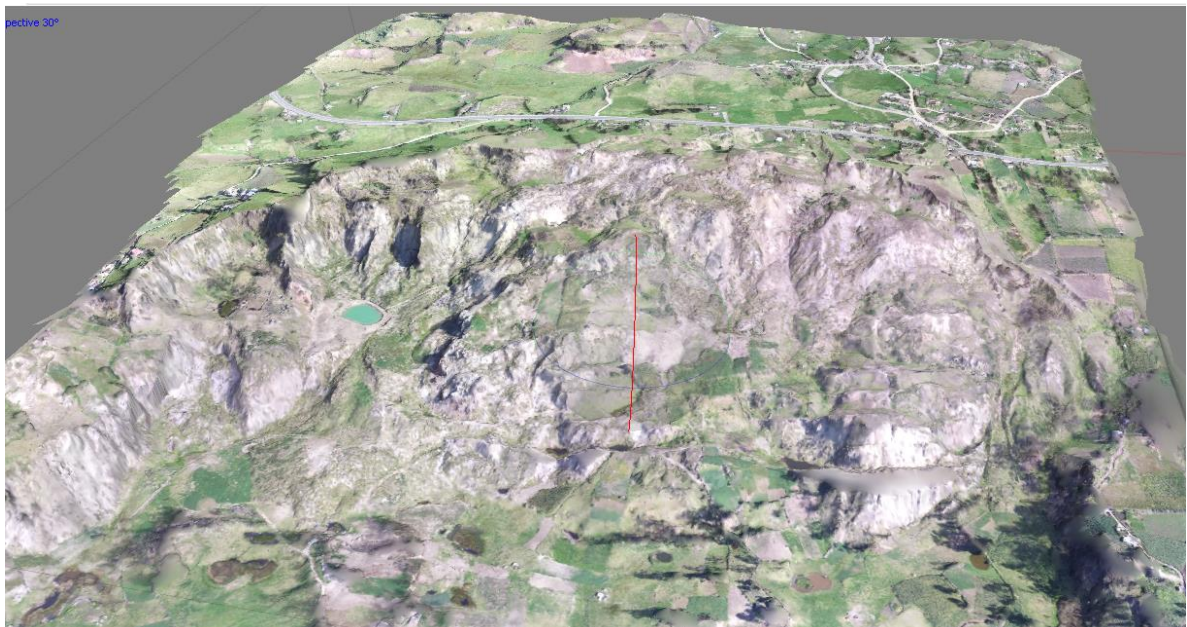
✓ **Resultado de Ortofoto:**

Figura 107: ORTOMOSAICO DE PRECISION



✓ **Modelo Digital en tres Dimensiones con textura:**

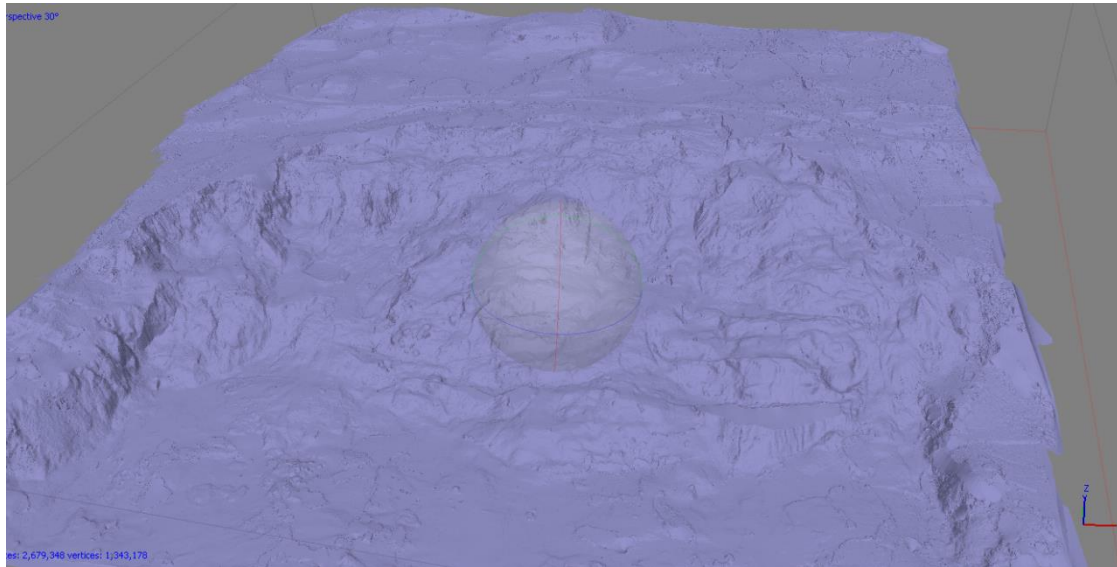
Figura 108: MALLA DE COLOR, SIN VEGETACIÓN



Nota: El detalle en una pantalla de alta resolución es excelente.

✓ Mapa de malla, topografía

Figura 109: MALLA TOPOGRÁFICA



CAPITULO VII

PROCESAMIENTO CON PIX4D MAPPER

○ Definición:

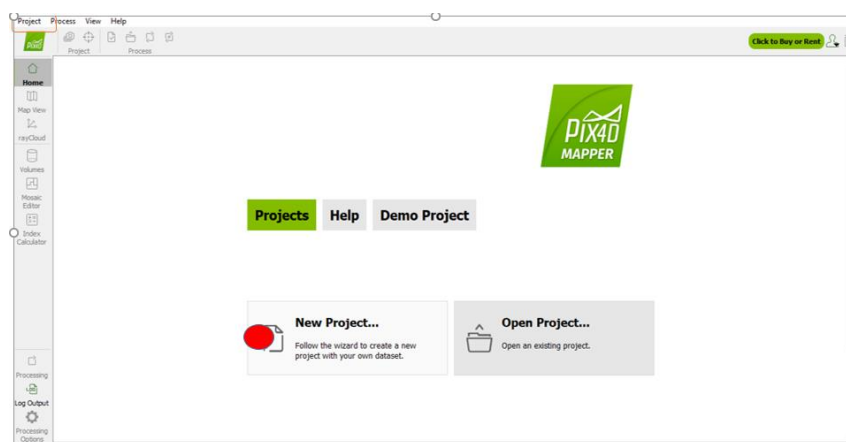
Este software de calidad es capaz de generar resultados a partir de imágenes aéreas o terrestre, existen varias herramientas para aplicaciones en ingeniería como: Ortomosaicos de alta precisión con calidad métrica, DSM (modelo digital de superficie), DTM (modelo digital de terreno), nube de puntos densa y modelación 3d, en poco tiempo con un flujo de trabajo muy intuitivo y semi-automático.

Proceso:

Para realizar un proyecto en Pix4d Mapper, nos debemos registrar y adquirir el software, también se logra pedir una versión de prueba por 15 días, más información sobre precios y tiempos de alquiler Pix4d.com.

- Una vez registrado y abierto el software, se debe crear un nuevo proyecto, lo ejecutamos de la pestaña “nuevo proyecto”, esta pestaña permite al software abrir, cerrar y guardar todos los procesos que se vaya realizando

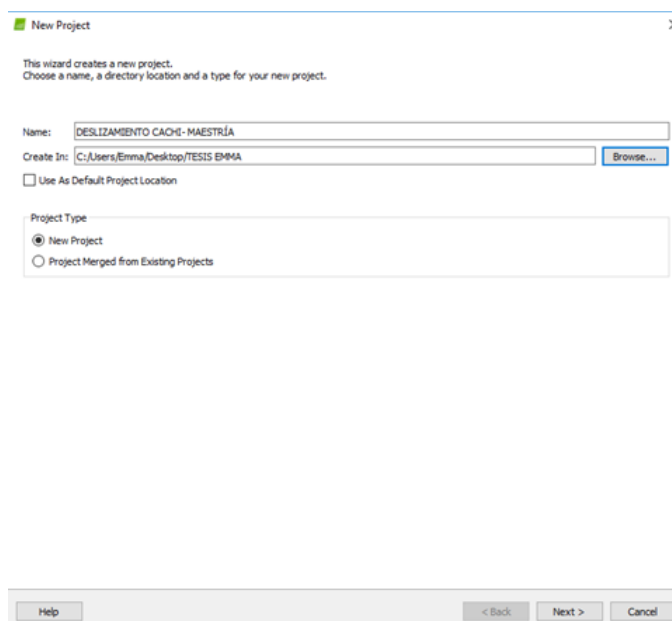
Figura 110: VENTANA INICIAL, SOFTWARE PIX4D MAPPER



Para crear un proyecto, este debe contar con nombre y una ubicación fácil de acceder donde

se guardarán los cambios en su procesamiento, como se puede observar:

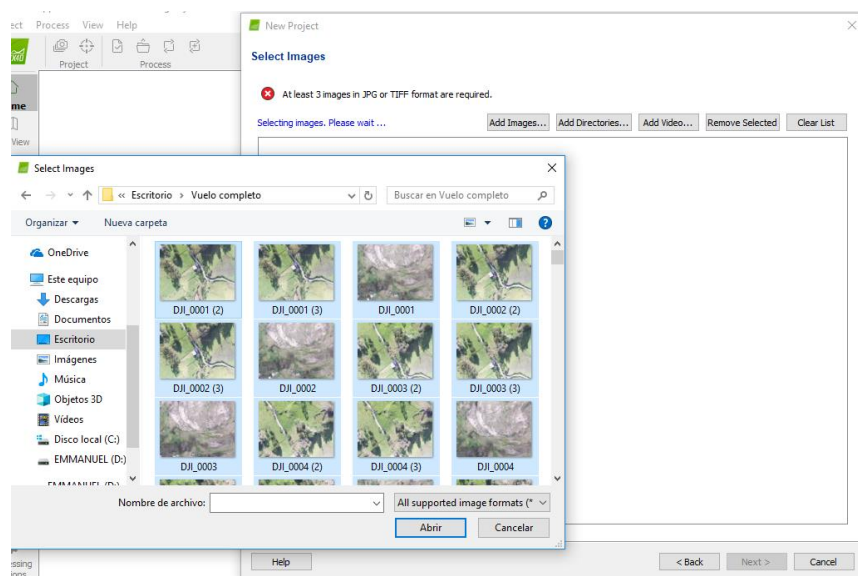
Figura 111: Crear un archivo -Nuevo proyecto



Nota: Colocar un nombre que identifique al proyecto y guardarlo en una carpeta fácil de ubicar, además de controlar que la memoria RAM del computador se encuentre libre para que no exista problemas al momento de procesar.

-Ahora, en la pestaña añadir imágenes buscar la carpeta con las fotografías tomadas por nuestro UAV y las cargar, usar ctr+E.

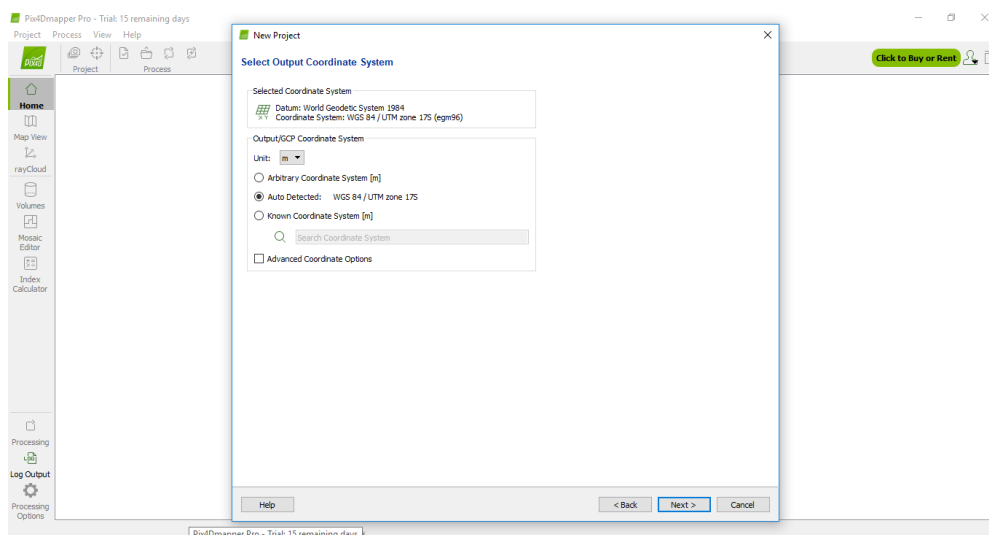
Figura 112: CARGAR IMÁGENES OBTENIDAS POR MEDIO DEL UAV



Nota: Verificar que todas las fotografías tomados con el UAV, sean seleccionadas y subidas al software

- En la siguiente ventana, se verifica que el software haya identificado el sistema de coordenadas correctas usadas por el aparato volador, en cada una de las fotografías, también se puede decidir en esta instancia el sistema de coordenadas que necesitan usar o transformar. En este caso se usará coordenadas geográficas WGS84, usadas también en el tutorial anterior.

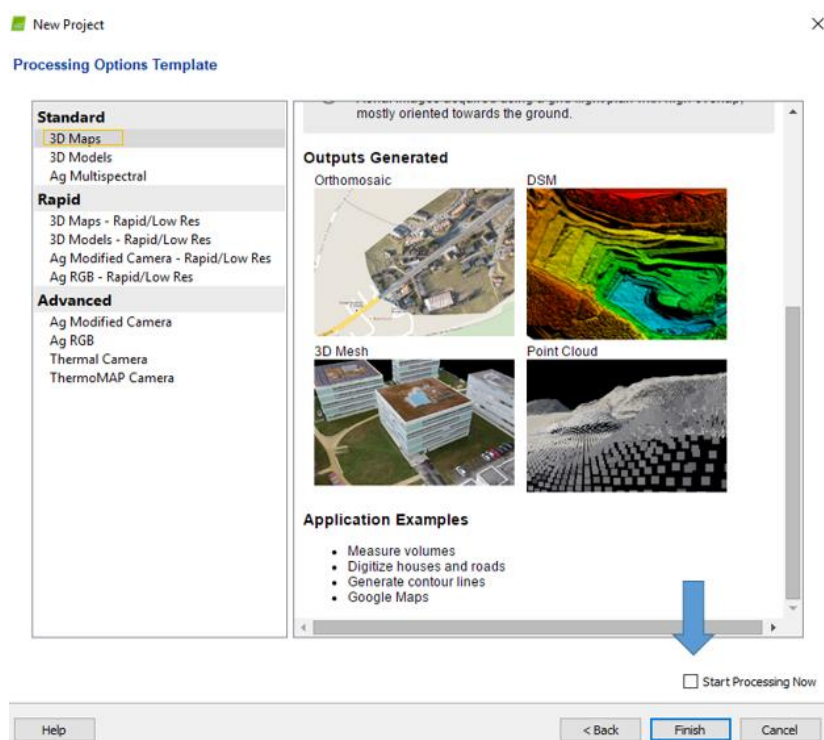
Figura 113: CONFIGURACIÓN DE COORDENADAS



Nota: Asegurar de trabajar en metros y en el sistema de coordenadas correctas, como ya determinamos anteriormente, es uno de los pasos más importantes, saber elegir el sistema de coordenadas y el lugar donde se encuentra el proyecto.

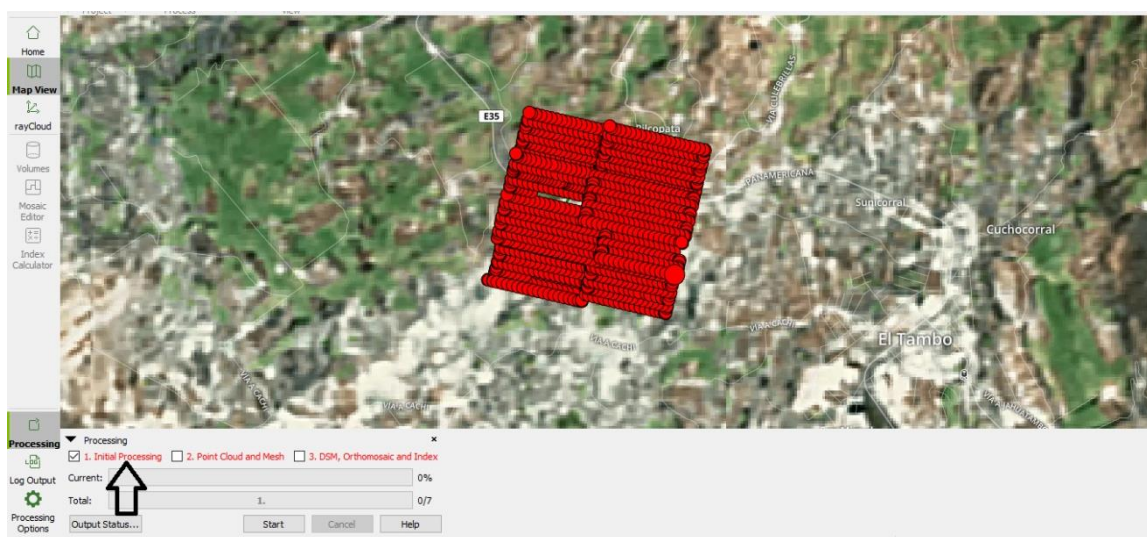
- Como siguiente paso, el ingeniero debe elegir según el tipo de proyecto, el lugar y el tipo de fotografías aéreas tomadas, cual es el procesamiento a realizar con el software fotogramétrico, en este caso se realiza cartografía, con la idea de procesar las imágenes y obtener Ortofotos de precisión, DEM, además de una modelación 3D de alta calidad, por lo tanto, escoger la primera opción **“3d Maps”** y asegurarse que la pestaña de empezar el proceso automáticamente, se encuentre desactivada, ya que se realice los procesos por partes, esto es importante realizar para poder corregir errores en el procesamiento y añadir puntos de control terrestres a nuestro proyecto, de tal manera que pueda contestar una pregunta territorial al finalizar de su proceso.

Figura 114: OPCIONES DE PROCESAMIENTO



Luego de finalizar, observar la ventana inicial, en la cual se verá las fotografías georreferenciadas en un mapa de baja calidad del software, asegurarse que los procesos 2 y 3 se encuentren inhabilitados.

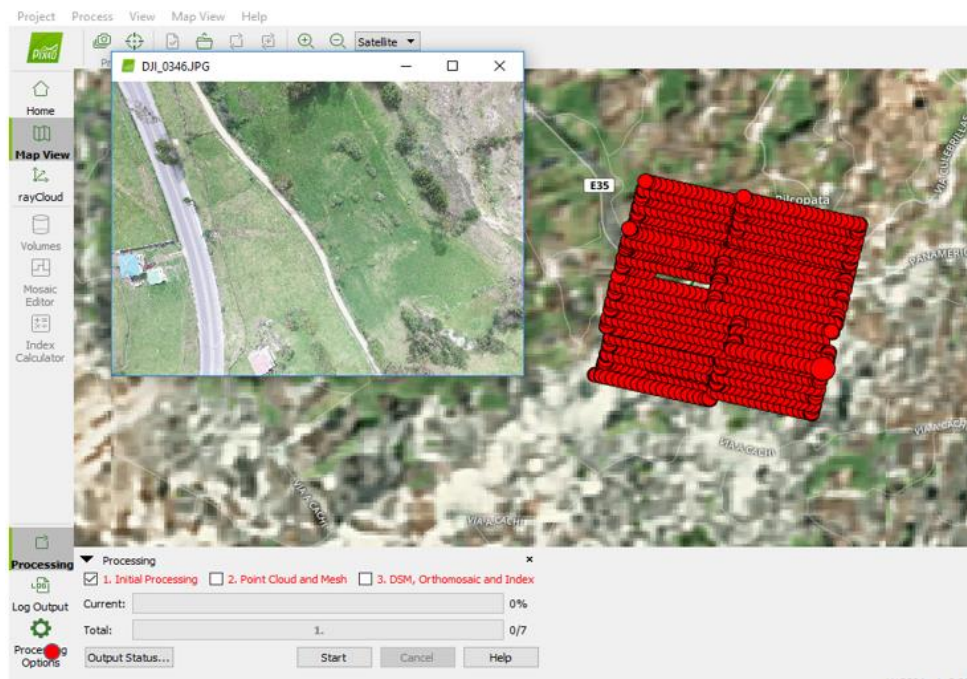
Figura 115: OPCIONES DE PROCESAMIENTO, VENTANA PRINCIPAL



Nota: Verificar que los procesos se encuentren desactivados.

Si se da clic en cualquiera de los puntos color rojo, muestra que cada uno de ellos son fotografías referenciadas, las mismas que en primera instancia se van a orientar, antes de habilitar el proceso inicial (1), y empezar, se debe calibrar algunos ítems de la siguiente manera: clic en la pestaña “opciones de procesamiento”:

Figura 116: Opciones de procesamiento



En opciones de procesamiento es importante elegir escala de imagen para puntos entre rápida y completa, en este caso colocar rápida ya que si se realiza de manera completa el computador tardara demasiado en procesar, por la cantidad de fotografías tomadas y que debe detectar, se recomienda que en proyectos de menor tamaño se debería trabajar con escala de imágenes completa ya que no tardaría tanto, se trata de ganar tiempo no solo en campo, sino también en procesamiento, al realizarlo de forma rápida el programa verificara todas las fotos sin encontrar todas las coincidencias posibles, de una forma rápida.

Figura 117: CONFIGURACIÓN DE OPCIONES

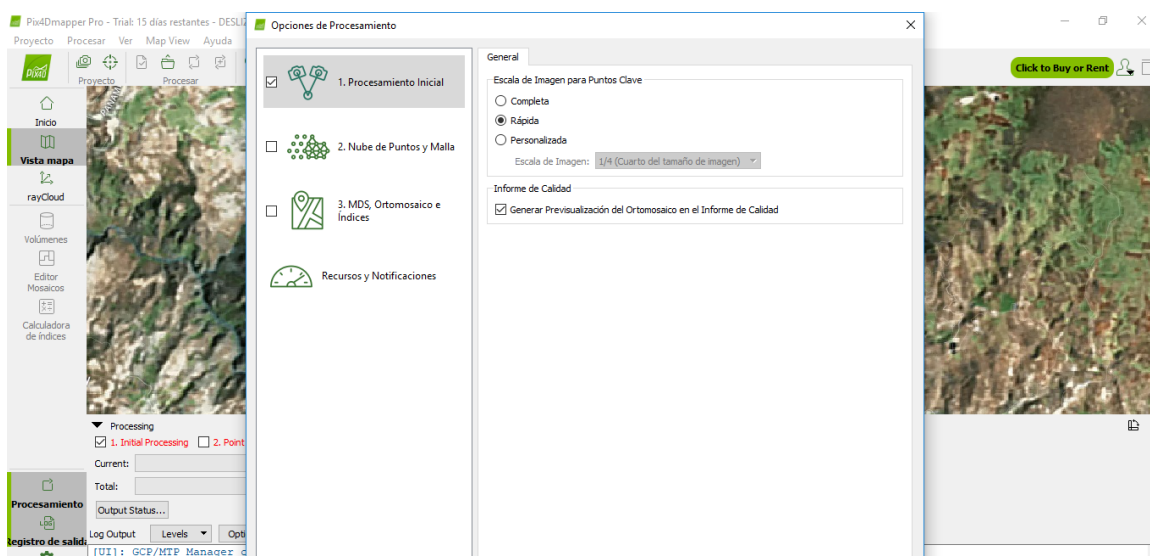


Figura 118: INICIO DE PROCESAMIENTO

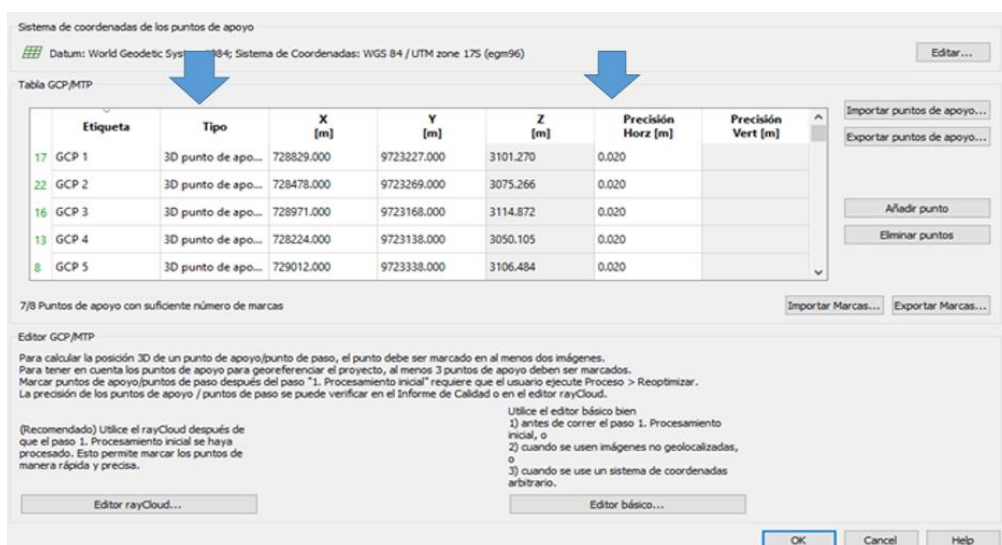


Nota: Empieza el proceso, los puntos verdes indican el nivel de proceso sobre las fotografías.

✓ Ubicación de puntos GCP:

Una vez terminado el procesamiento inicial, se debe ubicar los puntos de control tomados en campo, en el software, para aquello, dentro de la paleta principal, clic en *Gestor GCP/MTP*, y subir los datos, XYZ, con sus respectivos nombres, ejemplo GCP1, GCP2, etc. Asegurarse que estos puntos sean de tipo 3d punto de apoyo, de la siguiente manera:

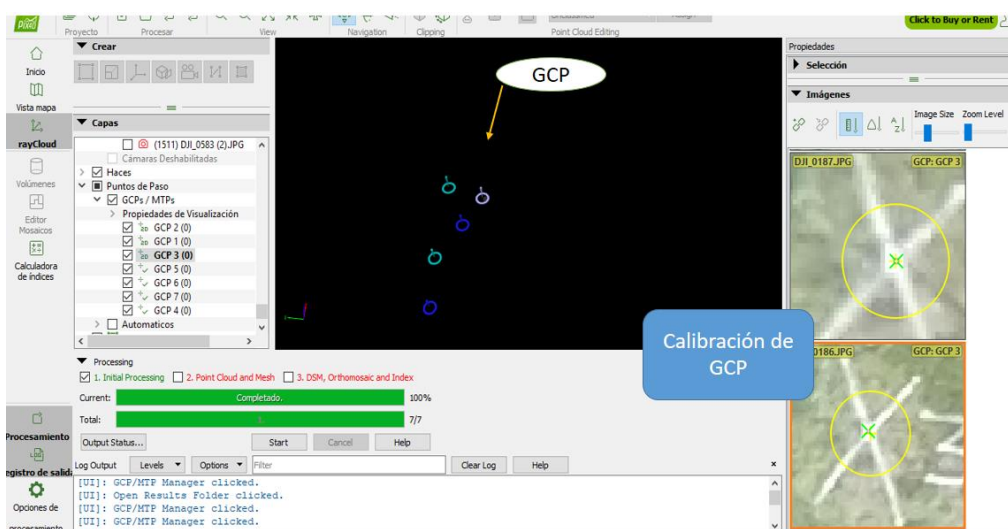
Figura 119: PUNTOS DE APOYO "GCP" EN PIX4D MAPPER



Nota: Se debe tener cuidado con la precisión en metros del aparato GPS, con el cual se tomó los puntos de control, de esta manera evitaremos errores indeseables.

-Una vez ubicados los puntos, aquellos aparecerán en la ventana inicial, dentro de la grilla de imágenes obtenidas con el UAV, dando clic en los puntos GCP.

Figura 120: Calibración de puntos de apoyo "GCP"



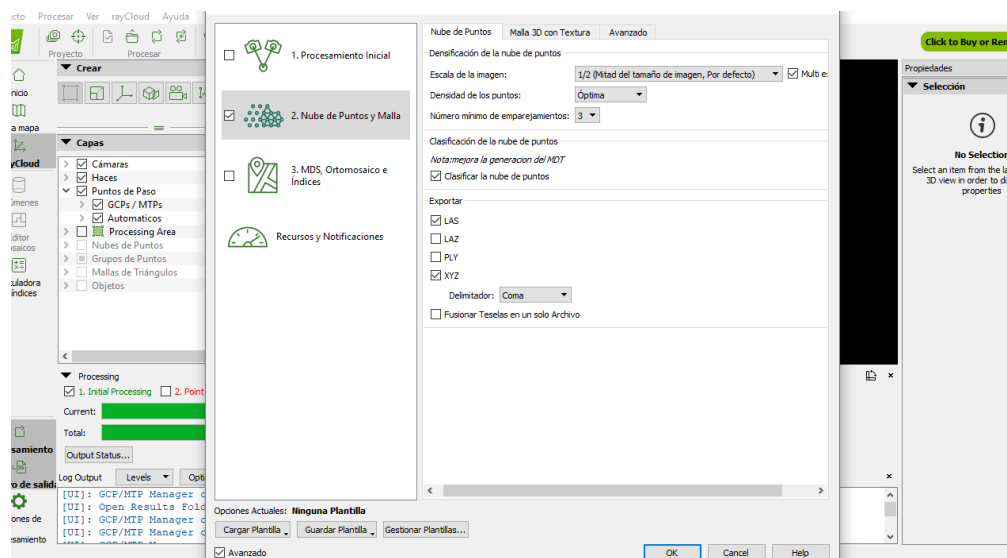
Nota: Se debe calibrar en la mayor cantidad de imágenes, moviendo el punto verde (x) hacia el centro de la marca.

✓ Segundo Procesamiento, Nube de puntos y Malla:

Este procesamiento es el que más tarda en procesar, ya que a través de visión computacional el software es capaz de encontrar puntos iguales entre fotografías, y generar una malla por medio del método de triangulación. Para editar la configuración de proceso: clic en *opciones*

de procesamiento y colocar escala de imagen: por defecto, densidad de puntos: optima, así ayudar a aumentar la velocidad de procesamiento y clasificación de la nube de puntos, además de procesar el DEM de mejor manera, los demás datos dejar por defecto ya que son datos avanzados que lo usarán en otro tipo de modelaciones, asegurarse que el procesamiento dos se encuentre activado, y dar clic en *Start*, esperar respuesta de máquina.

Figura 121: PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS Y MALLA

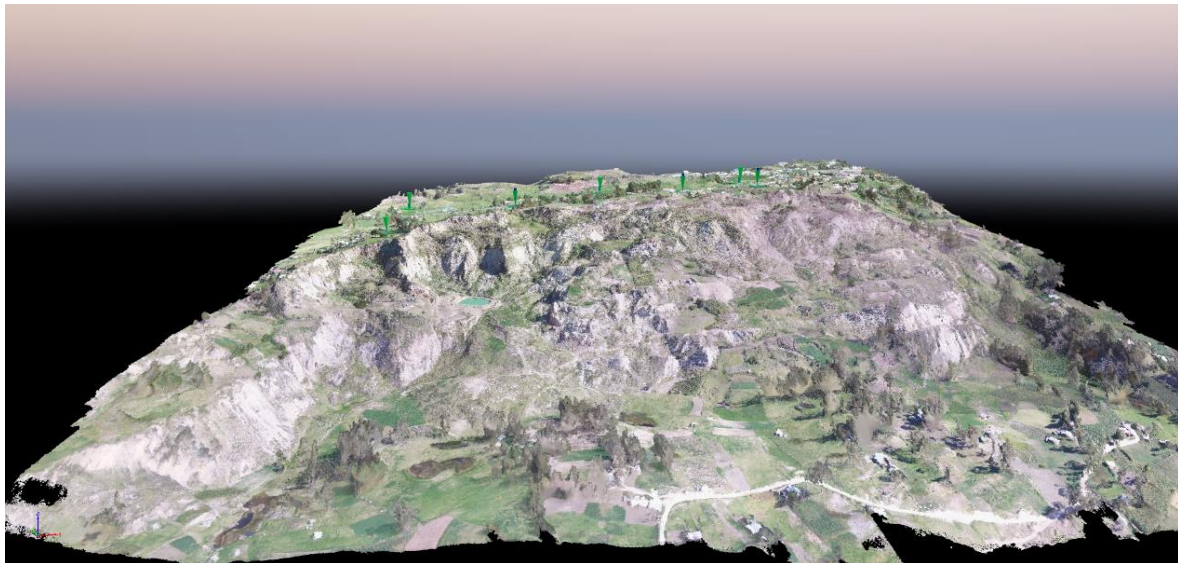


Nota: Se puede elegir datos como nube de puntos que sean exportados en cualquier formato.

Una vez terminado el segundo procesamiento, proceder a identificar el lugar inestable con una nube de puntos densa que permite emparejar cada punto de la nube como una coordenada X, Y, Z.

Como siguiente paso en la pestaña “RayCloud” se despliegan algunas opciones y se debe seleccionar “*malla de triángulos*”, clic aceptar, este proceso toma entre 5 -10 minutos, y luego de transcurrido el tiempo, mostrar un resultado como el siguiente:

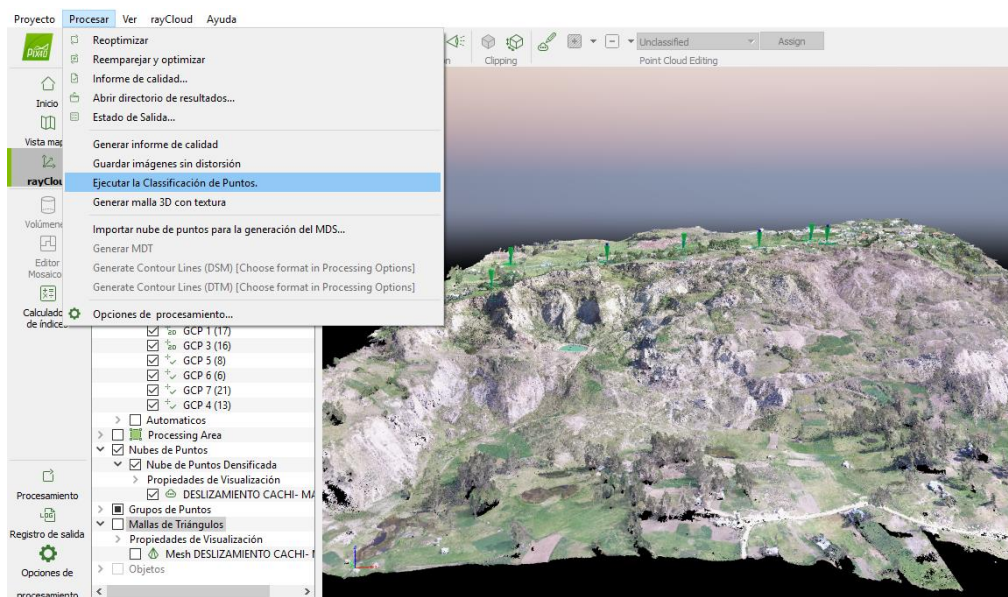
Figura 122: RESULTADO DEL PROCESAMIENTO, NUBE DE PUNTOS



Se tiene una modelación de la zona inestable en tres dimensiones, este macro deslizamiento lo podrá observar el Ingeniero Geotécnico a detalle en oficina.

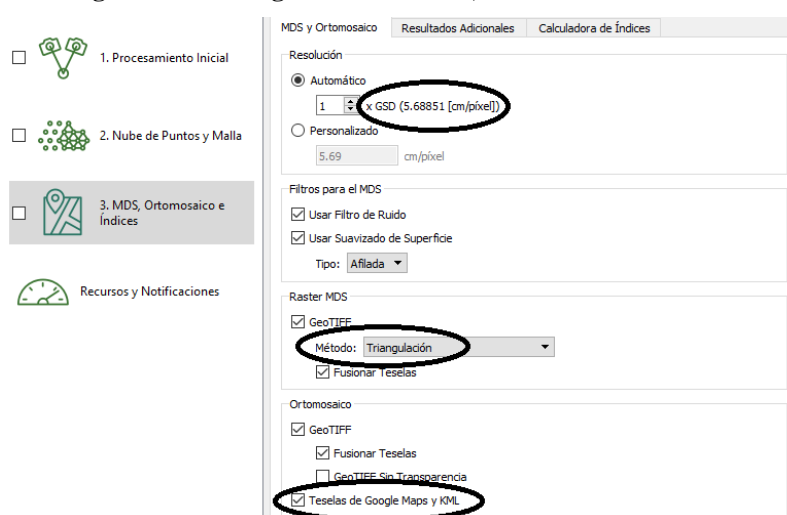
Una vez obtenida la Nube de puntos y la Malla de triángulos, es importante determinar MDS, ya que es necesario generar cartografía a nivel del terreno, para aquello es obligatorio limpiar la zona y filtrar las estructuras, arboles, etc., ya que estos objetos determinarían alturas incorrectas en nuestros mapas. Clic en *Procesar* (paleta principal) - *Ejecutar clasificación de puntos* - *Aceptar*, esperar tiempo de respuesta de la máquina que puede variar entre 10 y 20 minutos. Ver (figura 123)

Nota: El software detecta automáticamente la mayor parte de vegetación, estructuras o cualquier otro objeto que no sea la superficie del terreno y también permite eliminar estos objetos de forma manual dentro de la nube de puntos, este proceso puede ser cansado, si se desea afinar toda la modelación, aunque los resultados son de alta calidad siempre que se realice el trabajo de campo con eficiencia. Este paso se puede realizar desde la pestaña de **RayCloud - Editar Nube de puntos**, eligiendo los puntos que se debe eliminar y con el botón suprimir del teclado eliminándolos, al finalizar clic en “*reoptimizar*” y seguir con el siguiente paso a seguir.

Figura 123: CLASIFICACIÓN DE PUNTOS

✓ **Procesamiento orto-mosaico, índice y MDS.**

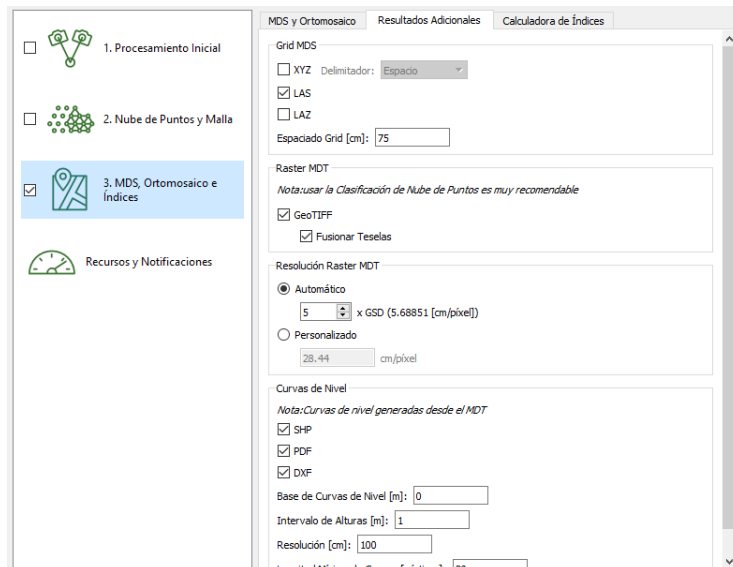
Una vez resueltos los puntos 1, 2, del procesamiento, se podrá generar una ortofoto de alta calidad y un modelo digital de superficie optima y limpia de objetos indeseados, desde la pestaña “*opciones de procesamiento*”, definir la pestaña MDS y Ortomosaico, de la siguiente manera:

Figura 124: Configuración de MDS, Ortomosaico e índices

Nota: El valor que coloquemos a la resolución siempre será cinco veces mayor en cm/pix, además nos aseguraremos que el método usado para realizar nuestro mosaico sea de tipo “Geotiff” usando el método de “triangulación” y activaremos “téselas para Google Earth”.

En este mismo proceso, en la pestaña "*Resultados adicionales*" realizar los siguientes cambios:

Figura 125: CONFIGURACIÓN DE MDS, ORTOMOSAICO E ÍNDICES



Nota: La pestaña calculadora de índices debería programarse por defecto.

Antes de iniciar uno de los procesamientos se recomienda verificar que solo se encuentre activado el asunto que se va a realizar, y posterior a la configuración de cada uno de ellos, se debe dar clic en “start” y esperar la respuesta de máquina.

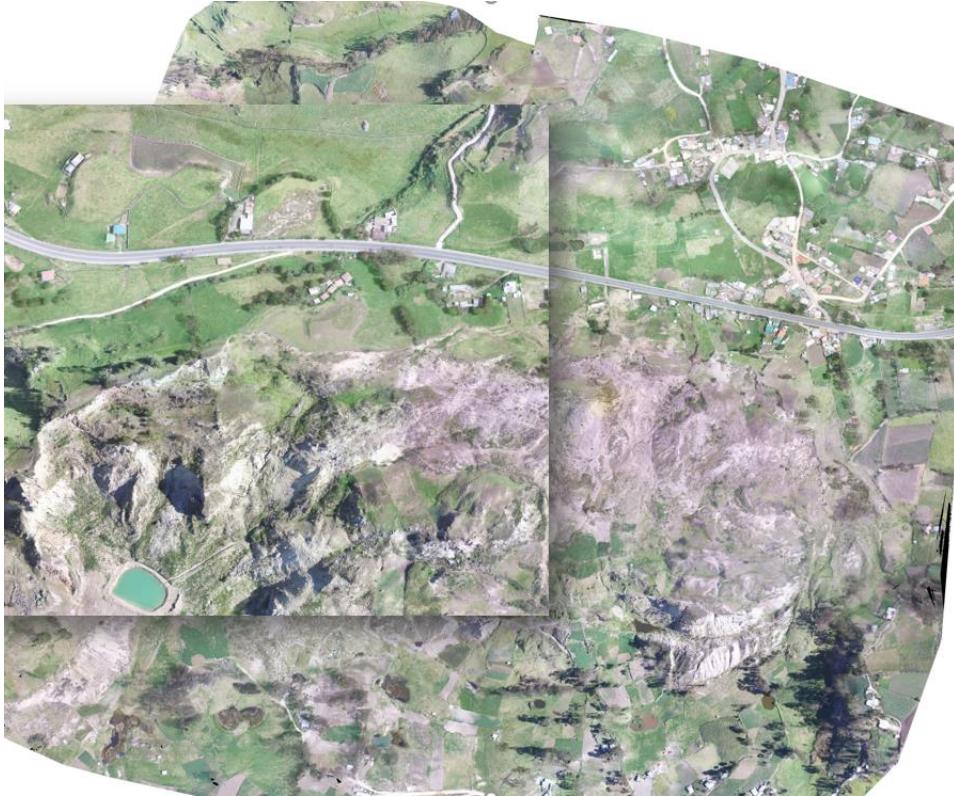
- Al finalizar conocer todos los datos del proyecto dentro de la carpeta creada, al inicio de la digitalización.

- Se puede verificar la calidad del Ortomosaico creado e incluso editarlo, si es necesario.

Nota: Cuando se realiza un correcto plan de vuelo, con solapes óptimos y altura suficiente es muy difícil que la calidad del Ortomosaico no sea la esperada.

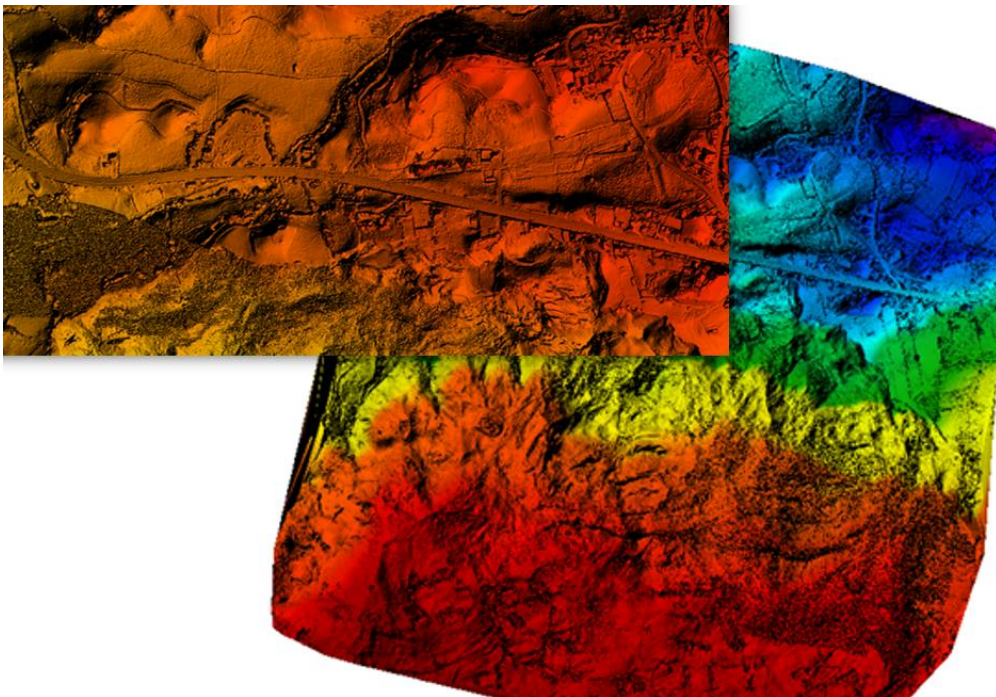
✓ **Resultado del Ortomosaico:**

Figura 126: ORTOMOSAICO-ORTOFOTO



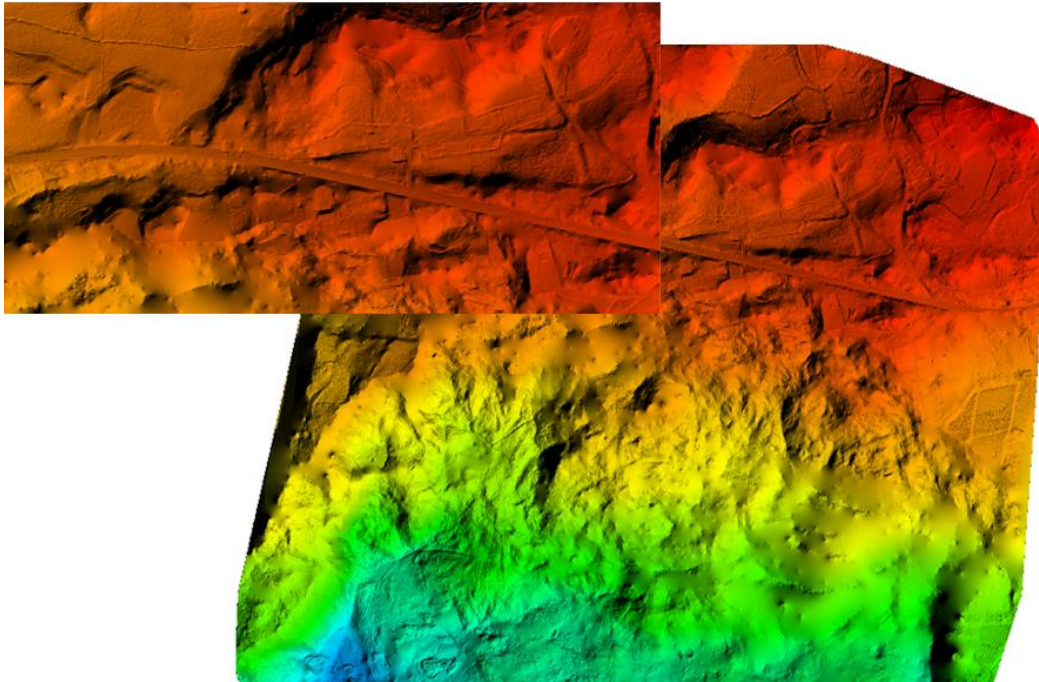
✓ **Resultado MDS**

Figura 127: MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE



✓ **Resultado MDT:**

Figura 128: MODELO DIGITAL DE TERRENO



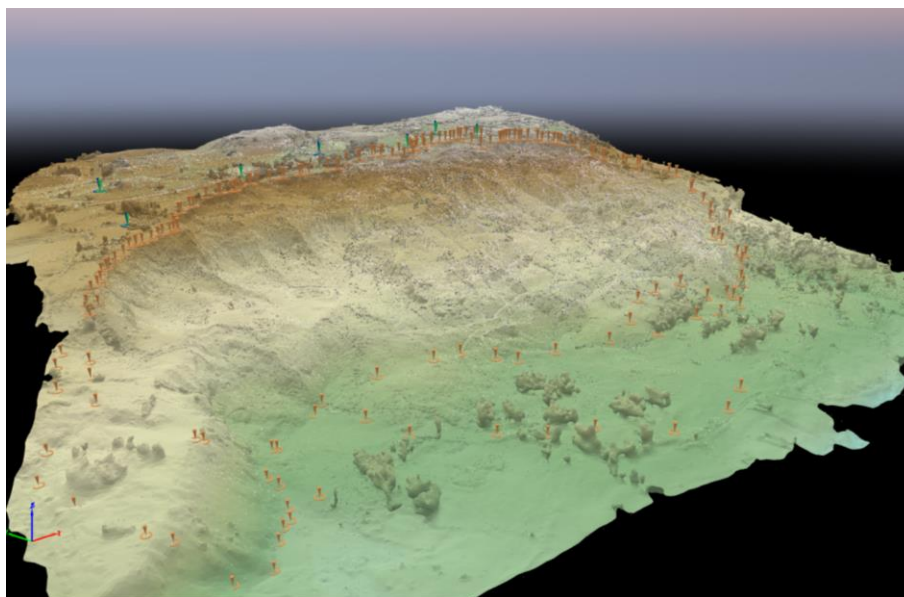
○ **Volúmenes:**

Para calcular volúmenes, Pix4d ofrece una herramienta muy sencilla y fácil de usar, en este caso emplear el método de triangulación entre puntos para la obtención de volumen de masa deslizada.

En la pestaña **Volúmenes - Ajustes – Escoger: Método de triangulación**.

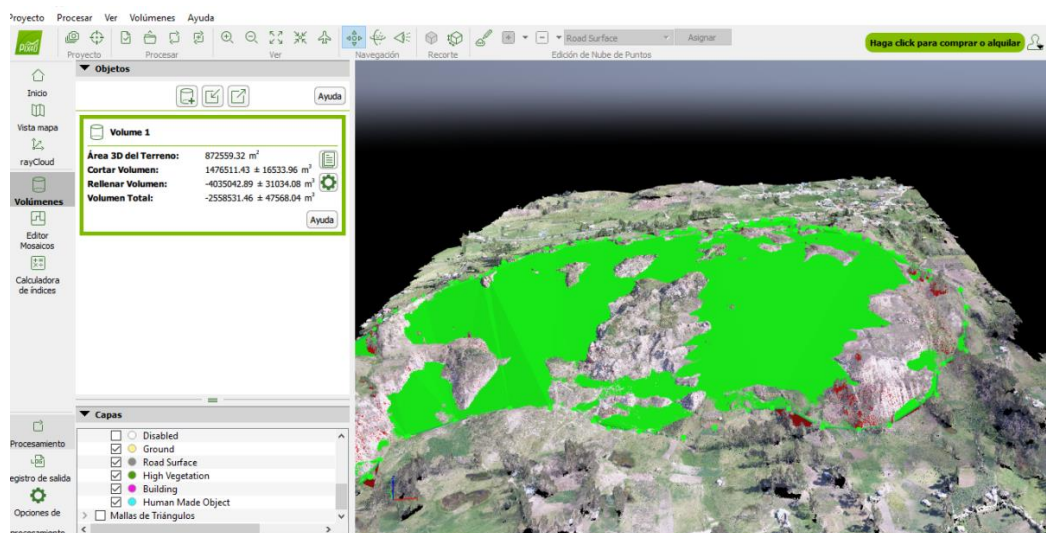
Una vez configurado el método a usar, con el botón izquierdo del mouse, colocar los puntos en el terreno de la zona a medir y cerrar el mismo con el botón derecho, cabe repetir que este volumen nos ayuda a tener una idea bastante acertada y aproximada del volumen deslizado, en este caso señalar la masa a medir de esta manera:

Figura 129: UBICACIÓN DE PUNTOS DE REFERENCIA PARA CÁLCULO DE VOLUMEN



Nota: Los puntos pueden ser situados de mejor manera en un mapa tipo topográfico como el de la figura anterior, además estos resultados pueden ser exportados en diferentes formatos, si se requiere ser usados posteriormente, consejo: exportar siempre en formato “shp” y “dxf”, para después usarlos en Softwares como Acgys, Civil 3d, Qgys entre otros.

Figura 130: CALCULADORA DE VOLUMEN



Nota: El Cálculo de volumen es bastante acertado y nos ayuda a tener una idea de la magnitud de inestabilidad que se encuentra ocurriendo en la zona.

Una vez concluido los procesos tanto en los softwares de Agisoft PhotoScan y Pix4d Mapper, usar estos datos en diferentes herramientas, como Global Mapper (con medicina en la red).

➤ Software Global Mapper “GM”:

Es una calculadora Raster y sirve para convertir datos de tipo Sig, Lidar, Geotiff, Pdf, DEM, ortomosaicos, e imágenes de alta calidad digital, pues es una herramienta completa para tratamiento de datos espaciales y editar resultados fotogramétricos, entre otras opciones interesantes, sobre todo para procesar datos lidar, en este caso usar Global Mapper para los siguientes procesos.

Proceso:

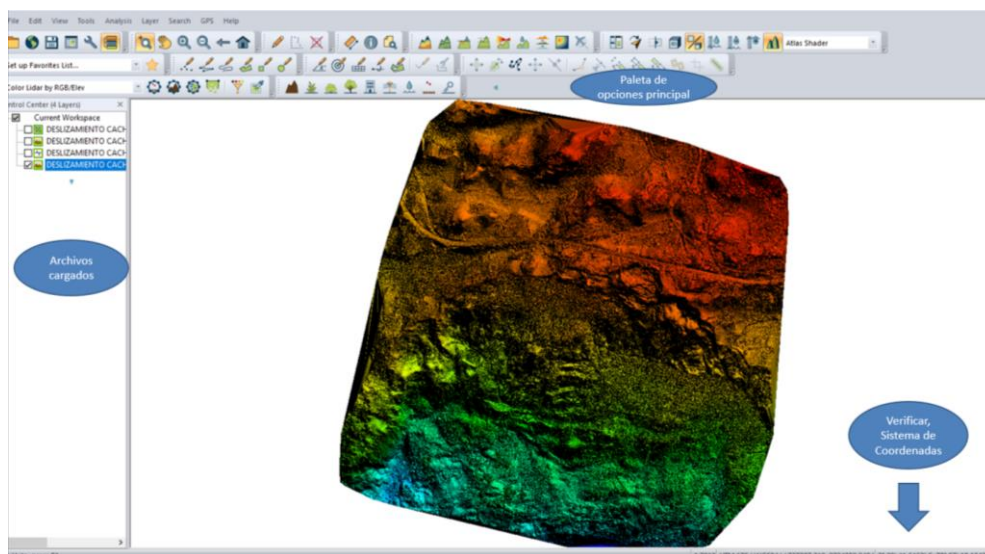
Abrir la herramienta “GM”, en este caso se cuenta con la versión V18.0, dar clic en “*Open Data Files*”.

Figura 131: VENTANA PRINCIPAL - GLOBAL MAPPER



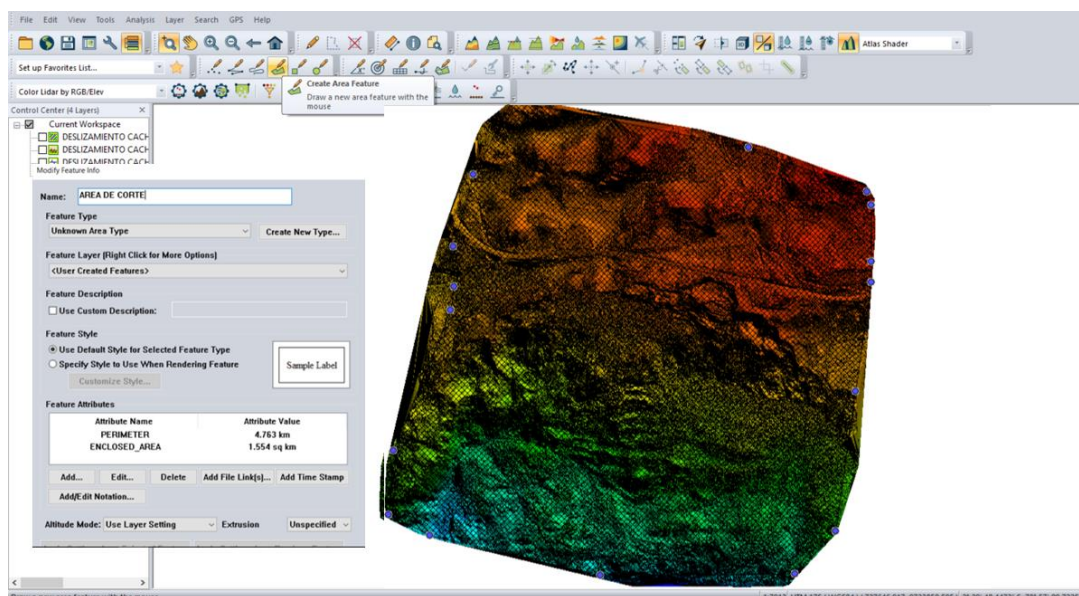
Nota: Abriremos nuestro MDT; MDS y Ortomosaico, también podremos acceder a nuestros archivos desde la pestaña File.

Figura 132: VENTANA - INICIAL " GM"



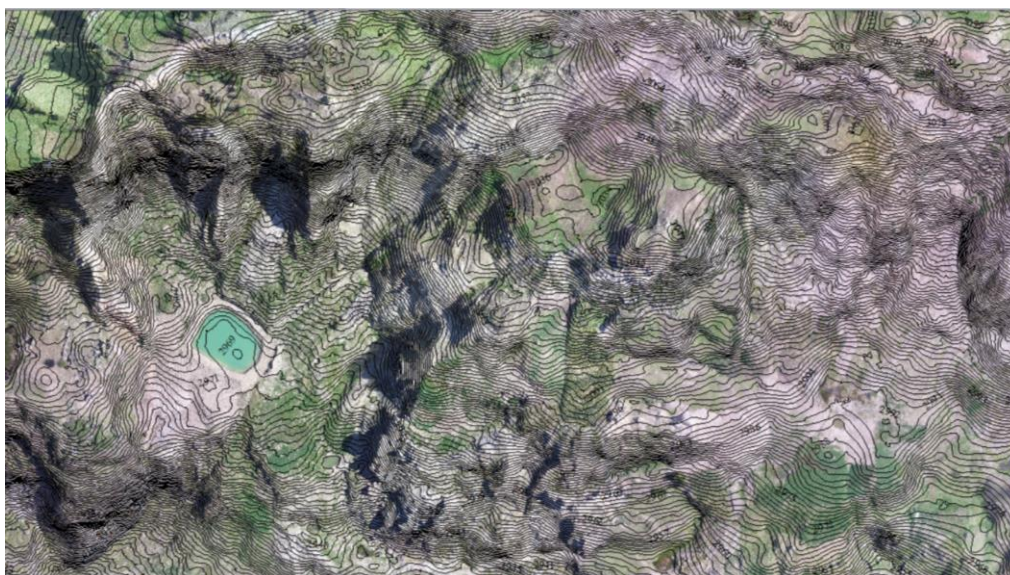
Esta herramienta es muy fácil de usar, es perfecta para trabajar con los datos obtenidos, lo primero que se debe realizar, es limitar el perímetro de la Ortofoto, MDT y MDS ya que sus bordes no son homogéneos, para aquello, en la paleta principal ubicar la herramienta “*Create Area Feature*” y realizar un perímetro de corte homogéneo, en cualquiera de los resultados obtenidos.

Figura 133: PERÍMETRO DE CORTE



Nota: En Opciones de Raster, clic en “Crop to Currently Selected Polygon(s)” y se recortara el perímetro deseado dándole una forma las homogénea a los resultados

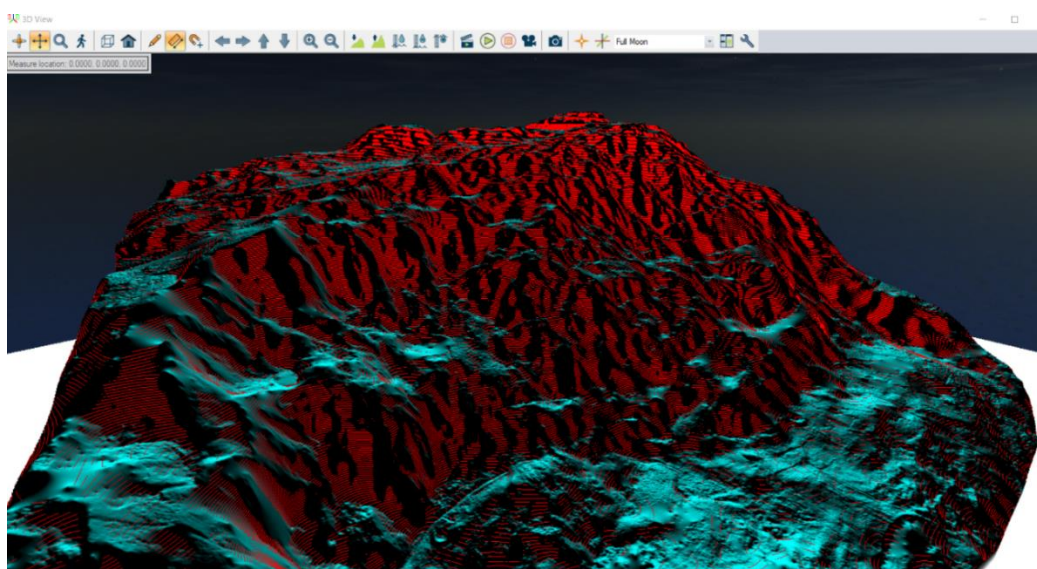
Figura 135: RESULTADO DE PROCESO- CURVAS DE NIVEL



Nota: Se puede exportar esta curvas en diferentes formatos, como archivo DXF, SHP, entre muchas más.

Desde la pestaña 3D ubicada en la parte principal del software “Global Mapper” y activada la casilla MDT y Curvas de nivel, modelar la zona inestable en 3D, de forma bastante rápida. Cabe recalcar que la modelación no es tan detallada, pero se puede usar como una opción.

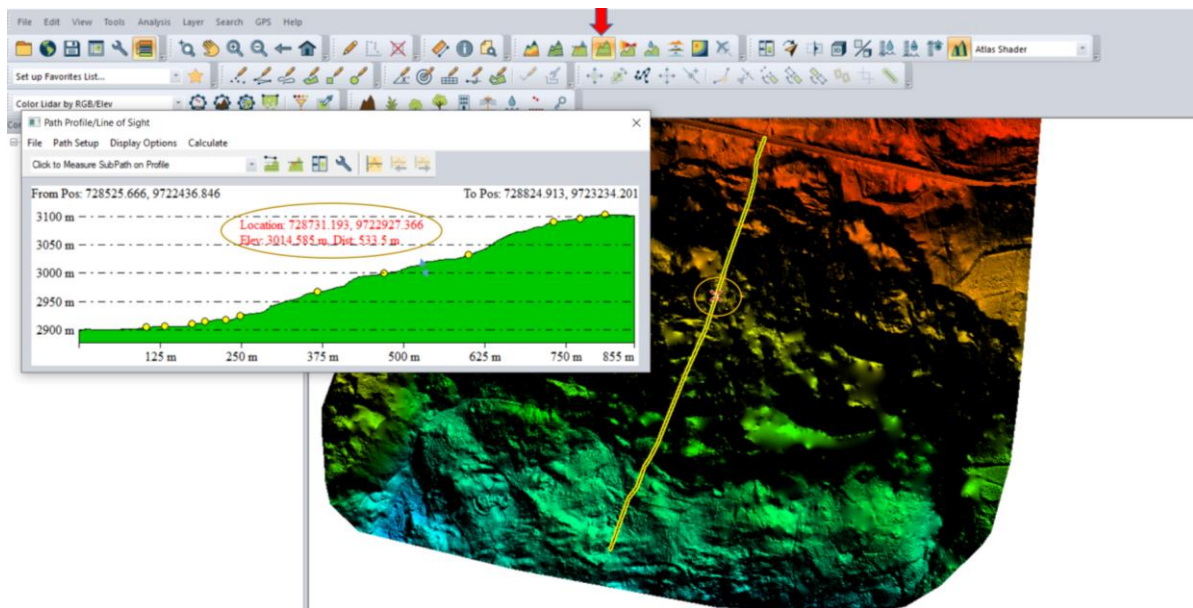
Figura 136: GENERACIÓN MDT EN TRES DIMENSIONES



En Global Mapper es posible realizar perfiles de la zona de estudio. Dentro de la paleta principal, encontrar la opción “*Phat Profile*”, luego de hacer clic en dicha pestaña realizar el

perfil deseado, al finalizar se mostrar un cuadro, con el perfil de la zona, si se desliza por el perfil realizar apuntes de las cotas obtenidas en ese punto; Dato: en este cuadro se realiza también cálculo de relleno a través de la pestaña *volumen*. El perfil se realiza de la siguiente manera.

Figura 137: GENERACIÓN DE PERFIL DE LA ZONA INESTABLE



○ **ArcGis:**

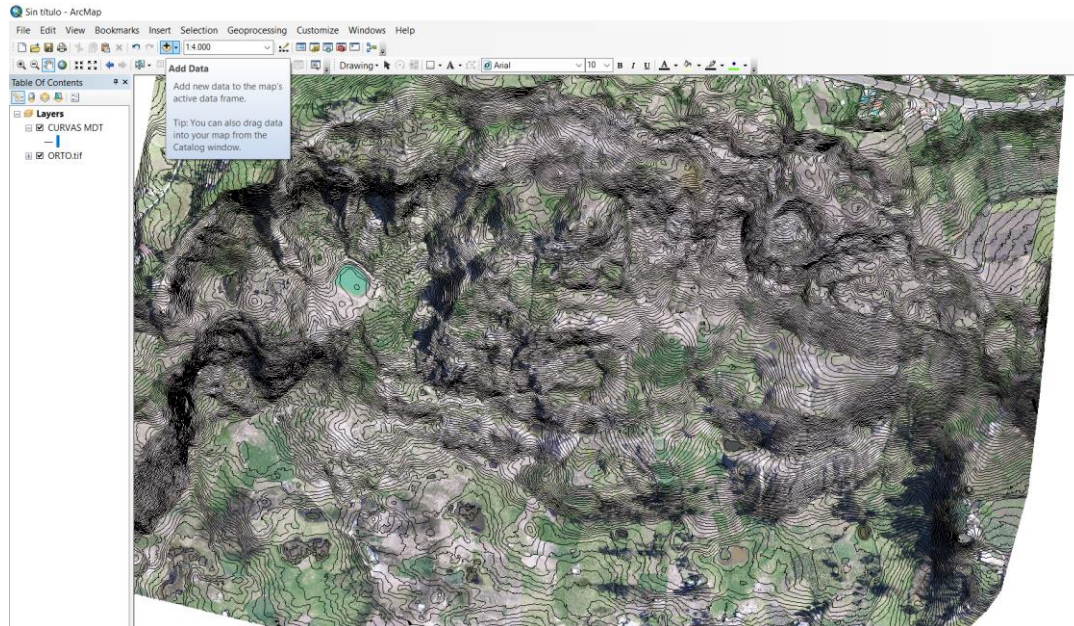
Afinar las curvas de nivel aún más, para aquello usar la herramienta de **ArcGIS**, pues es un software usado en el campo de Sistema de información Geográfica o llamado por sus iniciales “SIG”, este software es de la marca ESRI, sirve para diseñar, análisis y se encarga de cualquier tipo de tratamiento de información, geográfica, para esta investigación se usa Arcgis versión 10.5, se puede descargar desde la red con medicina.

Estos softwares son bastante completos y requieren de tiempo, estudio y practica para dominarlos, pues estos procedimientos son básicos y se realizan con la idea de ganar tiempo y que el profesional pueda realizar los procesamientos sin problemas.

Como primer paso, siempre antes de usar este tipo de softwares asegurarse que se encuentren utilizando el mismo sistema de coordenadas que el de su proyecto, luego en la

paleta principal, pestaña “*Add Data*”, buscar los: archivos ortofoto recortada y las curvas de nivel importadas de Global Mapper.

Figura 138: ARCGIS - AÑADIR ARCHIVOS AL SOFTWARE

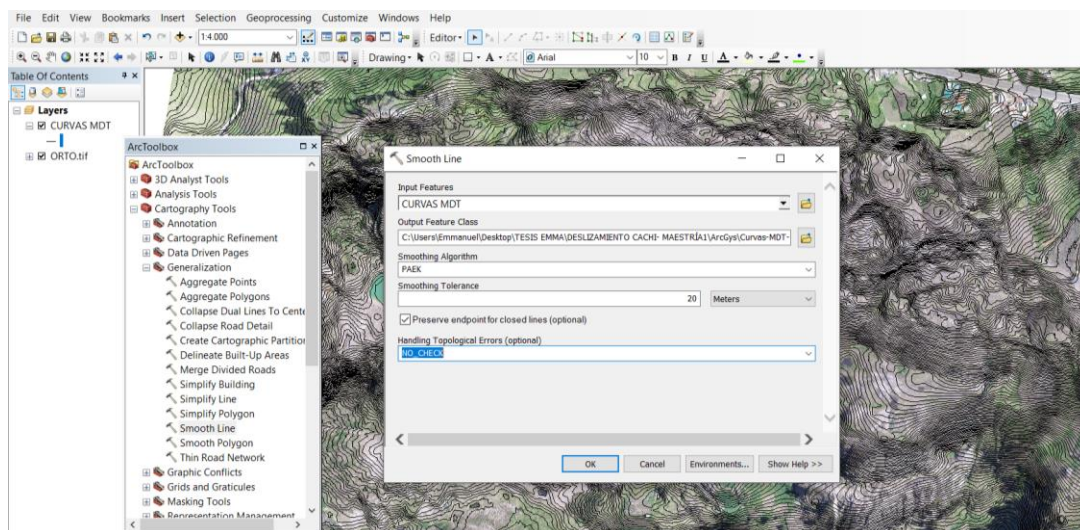


Una vez cargada las curvas de nivel, la Ortofoto, buscar en la barra principal la pestaña *ArcToolbox – Herramientas de Cartografía - Generalización – Suavizar Línea*. Seguidamente se abrirá otro cuadro de dialogo, en este cuadro archivo de entrada, escoger las curvas de nivel que se van a suavizar, además de colocar la ruta para guardar las mismas, y un dato importante, la tolerancia de suavizado, en este caso colocar como valor 20, se debería ir probando valores hasta que las curvas queden tan afinadas como se desee.

Las Curvas de nivel son una excelente estrategia para reconocer procesos o fenómenos morfológicos que pueden ser identificados en los mapas topográficos en los análisis de estabilidad.

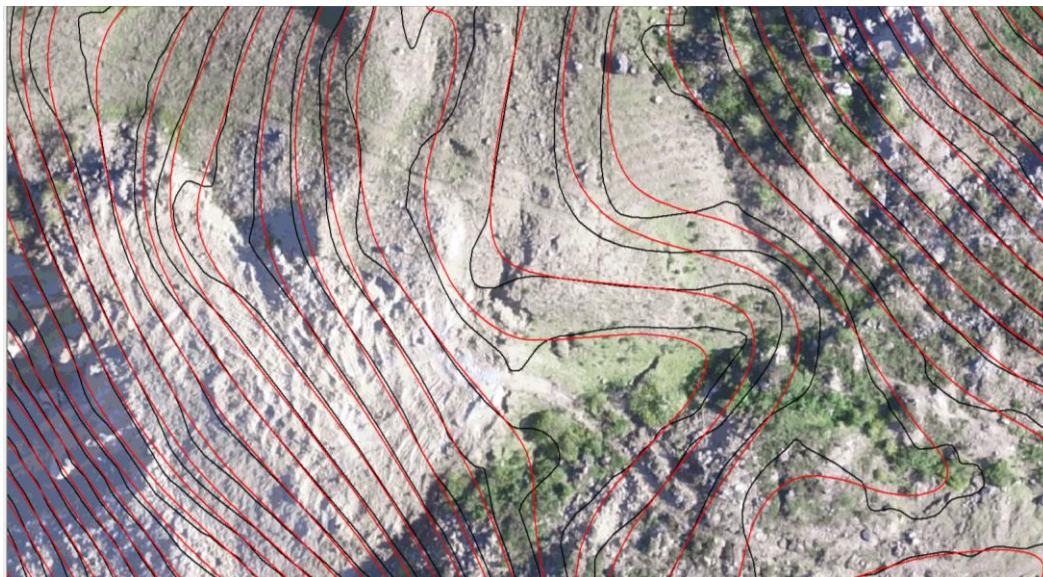
La grafica siguiente muestra el proceso que se debe seguir dentro de esta herramienta SIG:

Figura 139: ARCGIS- SUAVIZADO DE CURVAS DE NIVEL



Después de realizar este proceso se observa que las curvas se distinguen aún mejor, y se encuentran suavizadas, siempre es importante ser detallista con la generación de curvas de nivel.

Figura 140: ARCGIS- SUAVIZADO DE CURVAS DE NIVEL- TERMINADO



Nota: Se logra minimizar los errores de las curvas hasta que el ingeniero se encuentre a gusto, continuamente tener criterio al momento de realizar este proceso.

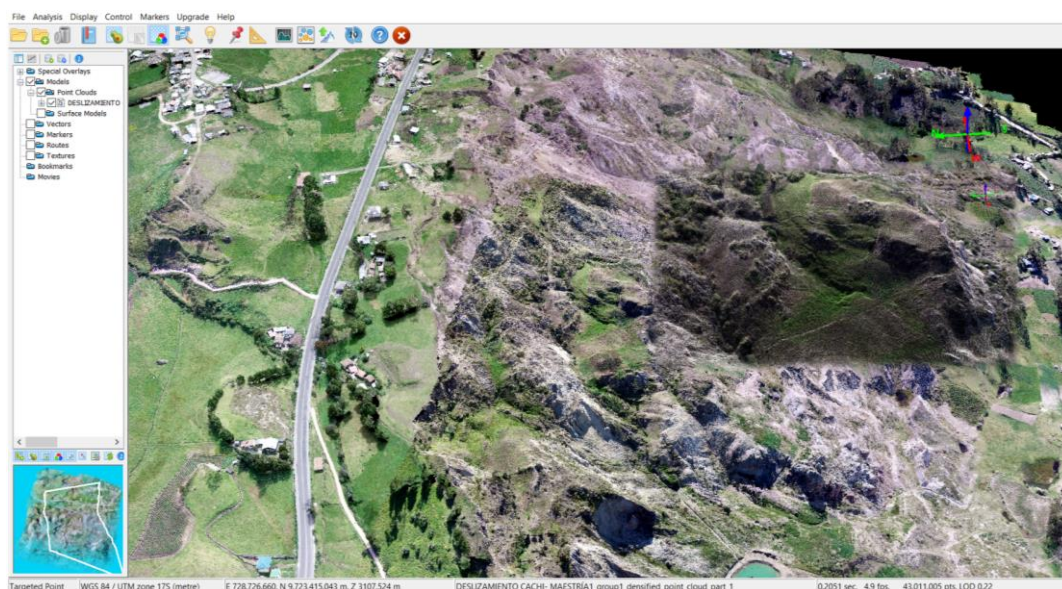
○ Quick Terrain Modeler:

Usar el software gratuito **Quick Terrain Modeler**, permite al usuario visualizar grandes cantidades de fichas, utilizando las mejores representaciones de datos para su análisis y explotación. Este software puede visualizar la nube de puntos densa como una superficie cuadriculada y un DEM, o mostrar ambos simultáneamente. Con los datos obtenidos anteriormente, el usuario puede mirar su trabajo utilizando herramientas de visualización como iluminación, paletas de elevación personalizadas, coloración del modelo y exageración de elevación, según página oficial. Información recuperada (Quick Terrain Modeler.com, 2018)

Luego de haber registrado su usuario, y descargado, el software puede ser instalado en cualquier computador, ya que es muy liviano y no necesita de especificación importantes.

Es fácil de usar, basta con arrastrar la nube de puntos en formato “.las” obtenida en el procesamiento de datos fotogramétrico en Agisoft o Pix4 hacia la ventana principal, de esta manera se visualizará la nube de puntos en cuestión de segundos.

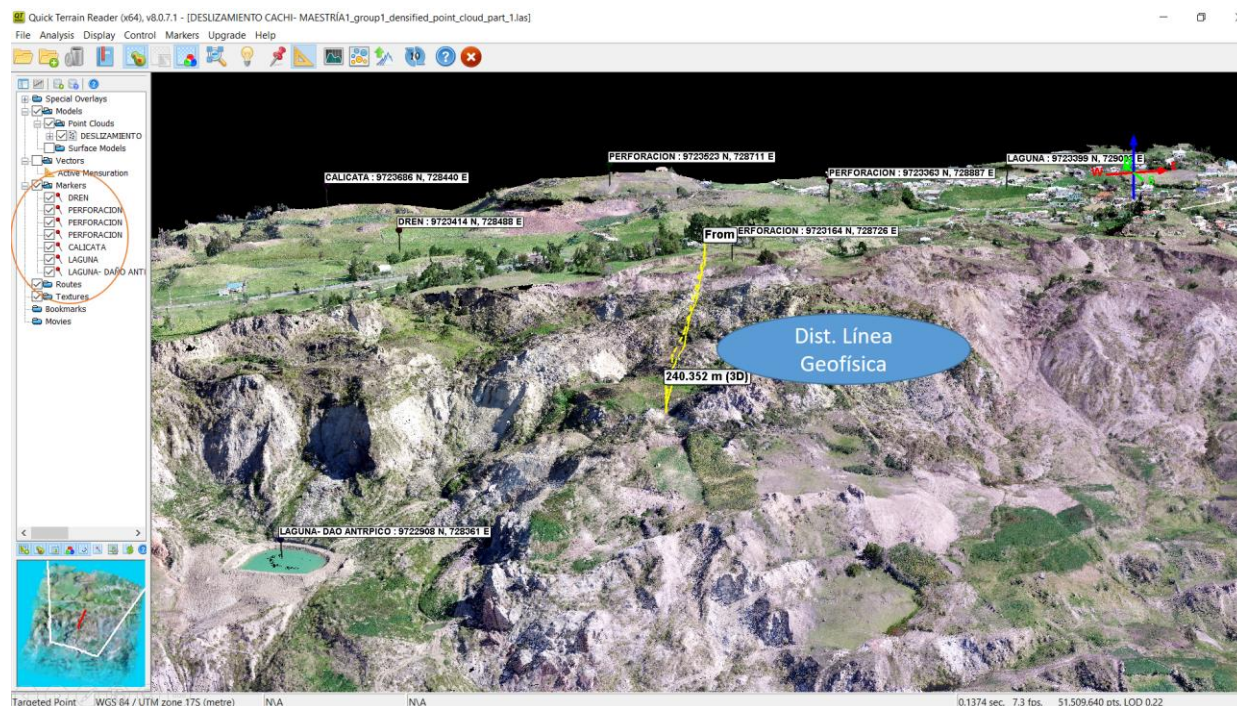
Figura 141: QUICK TERRAIN MODELER



Nota: Este software es excelente para preparar una consultoría, Ubicación de calicatas, líneas sísmicas, realizar cotizaciones, evaluar estructura civil, medir escarpes, Verificar presencia de agua, longitud de deslizamiento, entre otros detalles, que ayudaran a formar una investigación precisa y rápida.

Esta herramienta puede usarse para preparar la siguiente salida de campo o el estudio en general, todas las opciones se encuentran en la paleta principal, su manual viene con el software, en la pestaña ayuda.

Figura 142: QUICK TERRAIN MODELER- ANÁLISIS



Desde el instante que el Geotécnico usar aparatos UAV, para realizar un reconocimiento mucho más amplio de la zona, luego levantar, modelar y reconstruir la mayor parte del sector inestable, a base de fotogrametría digital, con el objetivo de obtener el “MDS” “MDT”; se puede interpretar que el Ingeniero empieza a realizar en poco tiempo una Consultoría más detalla, evitando efectuar varias salidas al campo y quedarse con la incertidumbre de no haber llegado a lugares de difícil acceso, las ventajas de usar Fotogrametría digital, a través de aparatos no pilotados pero controlados remotamente de la mano de Sistemas de Información Geográfica son varias entre las más importantes:

- **Ventajas de uso de esta información:**

- Gracias al correcto uso de los aparatos UAV y procesamiento fotogramétrico, se puede obtener muchos datos, esta información adquirida será suficiente para usar diferentes

técnicas de análisis, ya que normalmente se necesita la superposición de varios mapas, datos y tablas para lograr un resultado no tan preciso.

- En caso de errores solo debe corregirlo dentro del software y seguir con los procesos.
- Siempre se contará con información actualizada y de calidad.

- **Desventaja del uso de esta información:**

Las únicas desventajas se notarían si no se realiza el trabajo con ímpetu y responsabilidad, ya que puede existir grosos errores de escala, afectar al diseño y análisis de sus proyectos.

Si no se consta con un computador robusto que cumpla con lo requerido para el manejo de softwares, estos pueden demorar demasiado tiempo y los procedimientos se pueden volver agobiantes.

Además, la desventaja principal, personalmente, se expone al momento de usar esta tecnología y ganar experiencia con el uso de datos obtenidos, puesto que Ingenieros pueden dejar de visitar la zona de estudio, aún si aquella es de fácil acceso, aquello no es recomendable ya que los procedimientos son una herramienta para tener una perceptiva diferente del problema y el lugar.

CAPITULO VIII

TÉCNICAS DISPONIBLES PARA EXTRAER INFORMACIÓN EN BASE A FOTOGRAFÍAS AÉREAS

PREÁMBULO:

Eventualmente no son muy usadas las técnicas de fotografías aéreas mediante UAV en el campo de deslizamientos en Ecuador, esto se debe a la falta de conocimiento de la ciencia de fotogrametría y visión computacional, pues desde hace mucho tiempo la información de fotografías aéreas ha demostrado brindar información cualitativa, eventualmente a través de los procedimientos realizados en esta investigación se puede obtener mediciones cuantitativas sobre la superficie, además de conocer sus características. Algunos datos como la tipología y rasgos de deslizamiento son de suma importancia para asumir una idea más acertada del detonante de la inestabilidad y posteriormente a la investigación, realizar una propuesta de obras civiles para la estabilidad del lugar, de esta manera podemos contestar las preguntas planteadas en el problema de esta investigación:

- **¿Se puede realizar reconocimiento del área de estudio con aparatos UAV?:**

El recorrer el área de estudio es el procedimiento más antiguo en análisis de estabilidad, técnica que recientemente se empieza a perder, ya que el Ingeniero no realiza el recorrido de toda la zona de influencia y siempre tendrá ciertas dudas al momento de mitigar siendo aquellas soluciones constructivas no sean las mas adecuadas.

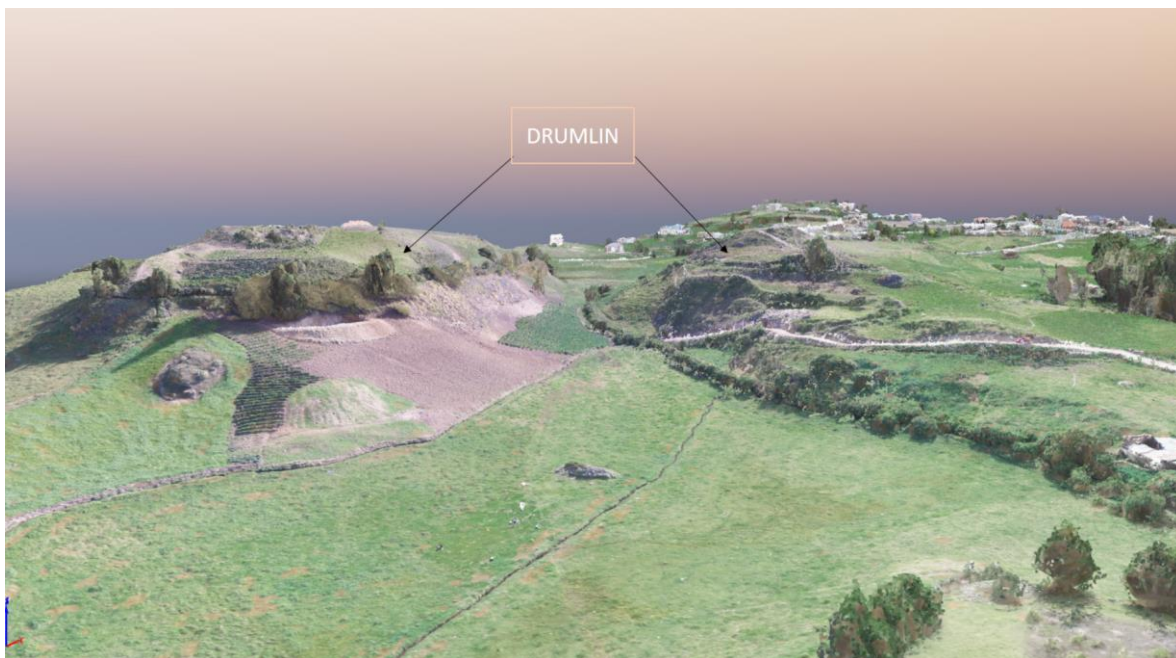
Con esta investigación se debe relacionar a los nuevos Ingenieros con la metodología antigua combinada con la tecnología actual, ya que se puede realizar un recorrido detallado y preciso de la zona, desde el punto de vista de la superficie, con varias ventajas advertidas anteriormente.

○ **¿Es importante realizar reconstrucción y modelo 3D?:**

Esta representación en tres dimensiones es muy importante realizarla en el proceso de estudio de la zona inestable, gracias a una buena modelación el Ingeniero es capaz de distinguir la zona afectada por el deslizamiento a cualquier escala y detectar cualquier elemento del paisaje, ayuda a evaluar rápidamente y eficazmente las zonas que se encuentran en peligro además de ubicar con exactitud las estructuras afectadas y conocer el porcentaje de población perjudicado, nos permite recorrer la zona y encontrar los niveles de vegetación del lugar, lagunas, quebradas, caminos reales, niveles de erosión por falta de vegetación, etc, los mismos que pueden ser los detonantes en muchos casos en estos tipos de estudios.

Asimismo, a través de la información 3D, podemos investigar los lugares de difícil acceso o altas pendientes, desprendimientos de roca y realizar mediciones, volúmenes, áreas y ejecutar planes de trabajo en campo para su posterior diseño de consultoría.

Figura 143: DOMOS DE MORRENAS Y TILLS "DRUMLINS"



Nota: Modelo digital 3D de precisión, Coord. (728669-9723969)

Figura 144: COORDENADAS Y ANCHO DE VÍA AFECTADA



Nota: Coordenadas cada 100 metros de la vía y el ancho de la misma, se encuentra en peligro por problema de inestabilidad y deslizamiento.

Figura 145: Ubicación y Secciones



Nota: la vía se es parte de la cabeza de deslizamiento, la misma que se encuentra en eminente peligro al igual que todas las construcciones civiles.

Figura 147: ESTRATIFICACIÓN DE LA ZONA INESTABLE

Nota: Con la ayuda del UAV el ingeniero puede tener una mejor idea desde diferentes perspectivas.

Estos procesos de caracterización y modelación 3D son esenciales antes y después de un deslizamiento ya que gracias a estos datos se puede por ejemplo si el problema fuera desprendimiento de material rocoso, pues se obtiene la dimensión de los bloques del talud de la totalidad de un deposito, de esta manera encontrar el volumen de material desprendido basándonos en la identificación de las caras que se puedan observar y las medias de las juntas que delimitan los bloques.

1.46 ¿Con las fotografías aéreas y ortofotos obtenidas a partir de UAV, se puede realizar un análisis del problema con comodidad, precisión, obteniendo resultados de máximo alcance?:

Esta técnica de retro-análisis es usada ya hace muchos años, la ventaja de usar aparatos voladores es contar con fotografías actualizadas del lugar, en poco tiempo. Aquellas son necesarias para analizar y comprender las condiciones del deslizamiento en periodos de tiempo, de esta manera se puede tener una idea del avance del deslizamiento en diferentes años, el cambio en el entorno, además de tener un control de su movimiento en el tiempo, gracias a los UAV, Fotogrametría y Visión Computacional se puede monitorear el deslizamiento con precisiones milimétricas si se realizan vuelos en tiempos diferentes, esta metodología puede

tener el mismo desarrollo que el de esta investigación, con la diferencia de los puntos GCP, aquellos deberán tener precisión centimétrica; Cabe recalcar que una ortofoto se diferencia de una fotografía normal, ya que la ortofoto es un archivo el cual nace de la fusión de una fotografía con las características y cualidades geométricas de un mapa.

Figura 148: SECUENCIA DE ORTOFOTOS EN EL TIEMPO



Nota: evidentemente el problema de inestabilidad se encuentra activo, ya que las zonas de acumulación y recarga siguen creciendo, al igual que la extensión superficial del deslizamiento, existe zona con vegetación y se nota que el deslizamiento empieza a ser de tipo rotacional en la parte inferior y traslacional en la superior.

Por otro lado, las fotografías aéreas nos ayudan a recorrer con seguridad toda la zona del deslizamiento, lo cual hubiera sido imposible para el equipo Geotecnista recorrer el área completa de estudio en tan poco tiempo y peor aun en las condiciones en la que se encuentra el lugar, sin los UAV seria necesario un helicóptero el mismo que genera un alto costo económico y poder recolectar tanta información para el futuro análisis del problema.

Con ayuda del UAV se pudo recorrer la zona alta del deslizamiento aproximadamente entre 1 y 2 km del punto de partida, se constato la existencia de zonas de acumulación de agua y saturación, detonante principal de la infiltración de agua que se encuentra en la zona baja del deslizamiento, esta información da una idea más clara de la hipótesis y empezar a analizar el problema de este macro-deslizamiento, aportando a la investigación la dimensión de estas lagunas y zonas de saturación, algunas de ellas podemos ver en las siguientes figuras:

Figura 149: FOTOGRAFÍA AÉREA



Nota: la fotografía aérea fue tomada por el aparato UAV Inspire 1, al explorar la zona inestable, encontrando zonas de grandes acumulaciones de agua, las imágenes tomadas por el UAV son georreferenciadas, esto es importante ya que al conocer el lugar exacto donde fue tomada, se puede realizar una visita si es necesario en la próxima salida de campo, esta fotografía tiene las siguientes características:

- Distancia aproximada de vuelo: 820 m
- Angulo de cámara: 90°.
- Velocidad de vuelo: 10 m/s.
- Tiempo de vuelo: 5 minutos.
- Coordenadas de la fotografía: -2.497053, -78.941957

Figura 150: FOTOGRAFÍA AÉREA



Nota: En esta fotografía aérea se puede verificar las grandes lagunas naturales que existen en la parte alta del sector, e invita al ingeniero a tener una idea mas clara de la situación actual del deslizamiento.

Características de la fotografía:

- Distancia aproximada de vuelo: 1.87 km
- Angulo de cámara: 47°.
- Velocidad de vuelo: 12 m/s.
- Tiempo de vuelo: 13 minutos.
- Coordenadas de la fotografía: -2.489284, -78.946781

Figura 151: FOTOGRAFÍA AÉREA- LAGUNAS



Características de la fotografía:

- Distancia aproximada de vuelo: 1.42 km
- Angulo de cámara: 84° .
- Velocidad de vuelo: 10 m/s.
- Tiempo de vuelo: 10 minutos.
- Coordenadas de la fotografía: -2.492787, -78.944667.

Figura 152: Fotografía aérea- Zonas Húmedas



Características de la fotografía:

- Distancia aproximada de vuelo: 857 m
- Angulo de cámara: 78°.
- Velocidad de vuelo: 10m/s.
- Tiempo de vuelo: 6 minutos.
- Coordenadas de la fotografía: -2.497146, -78.942046.

Figura 153: FOTOGRAFÍA AÉREA- CORONA DEL DESLIZAMIENTO



Nota: Deslizamiento de tipo Rotacional activo, hacia la parte alta.

Figura 154: FOTOGRAFÍA AÉREA - PIE DEL DESLIZAMIENTO



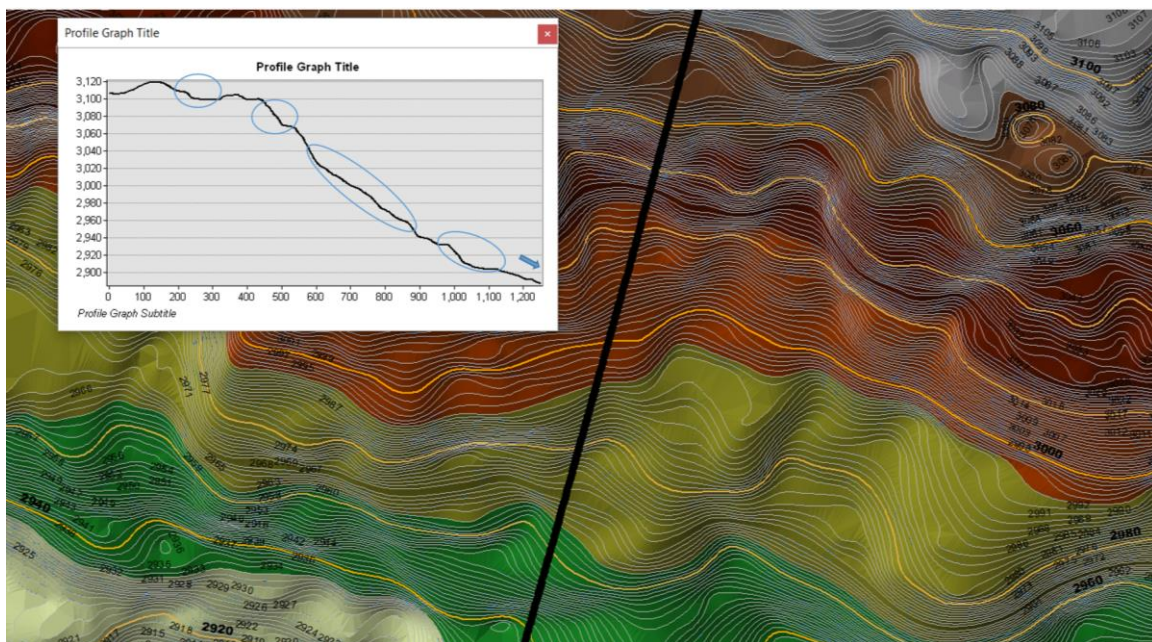
Nota: Deslizamiento de tipo Traslacional hacia la parte baja del Río Cañar.

- **¿Atrás de softwares fotogramétricos se puede obtener modelos digitales de elevación y usarlos como una herramienta en el análisis de estabilidad?**

Con la ayuda de procesamiento fotogramétrico se conoce que se puede obtener el DEM o llamado también MDS, que es capaz de mostrar de una forma muy detallada y precisa la topografía de zona a nivel de la superficie.

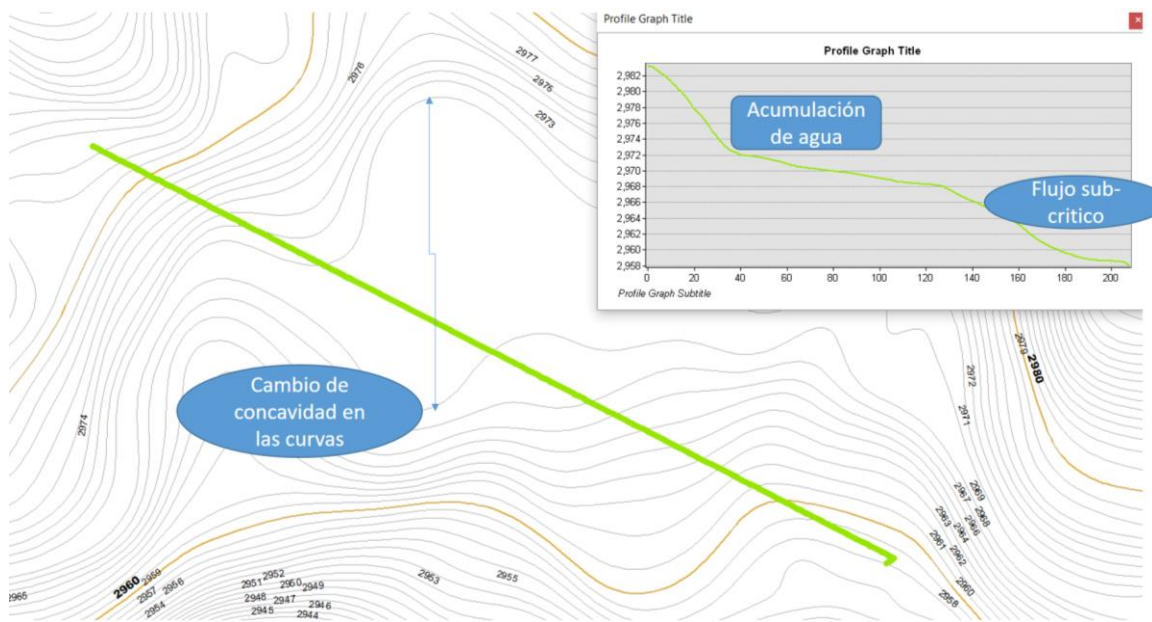
El DEM es usado para múltiples tareas como se explica anteriormente, en este caso específico de estabilidad se usará una técnica que se encuentra en Investigación llamada Flujo de acumulación, además de usar esta información para crear las curvas de nivel las mismas que siendo un método muy antiguo ayudan al Geotecnista a determinar aspectos relevantes en la investigación y análisis del problema.

Figura 155: Procesos Geomorfológicos



Nota: Se puede notar claramente en el perfil de la zona afectada, zonas grandes de acumulación de agua, además podemos notar como el deslizamiento se torna rotacional, el mismo que se encuentra afectando a la vía y puede producir una pérdida de banca de la misma.

Figura: 156: Rotacional con empozamiento



Nota: Las curvas de nivel de precisión obtenidas desde los UAV de forma rápida es una herramienta necesaria para el estudio y análisis de deslizamientos.

○ Flujo de Acumulación:

Esta técnica últimamente es usada en estudios de estabilidad de taludes y laderas, la investigación se encuentra dirigida por el Msc. Frank Montoya Callejas, quien ha encontrada una metodología para equiparar este método sistemático e interpretar el flujo subsuperficial concentrado y de esta manera identificar las posibles líneas y dirección de flujos, canales, lagunas, arroyos existentes dentro de la zona inestable con precisión y detalle.

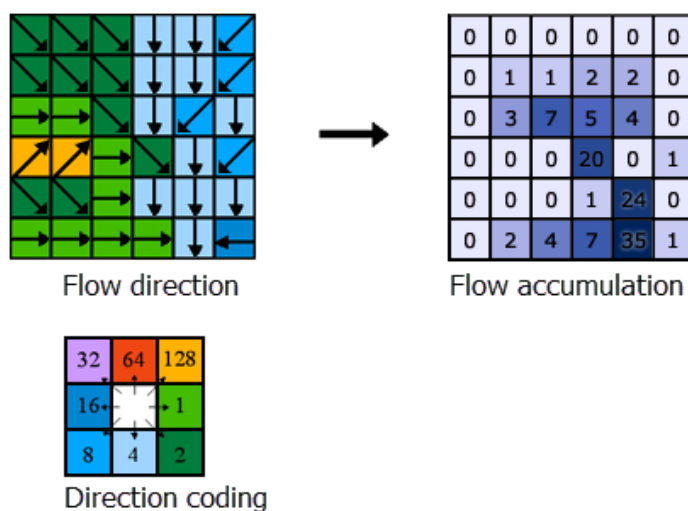
La investigación del Msc, es bastante interesante ya que es la primera imagen que un Geotécnico debería poseer al momento de estudiar la zona, con la ayuda de este mapa de acumulación y entendiendo la metodología de interpretación se puede identificar con exactitud los lugares idóneos para realizar perforaciones. Hasta la fecha este método está siendo comprobado en varios deslizamientos a nivel Nacional en Colombia, con excelentes resultados registrados al momento de realizar las perforaciones e impedir estudios costosos y desventajas de tiempo en campo, este mapa ayuda a tener certeza de la existencia de agua en la zona.

Para llegar al objetivo de definir los aspectos comentados, es necesario seguir una serie de procesos en el software ArcGis, el punto inicial es la obtención del DEM a través de aparatos voladores y Fotogrametría Digital, este tipo de archivo es necesario por su precisión y calidad de detalle.

La herramienta calcula el flujo acumulado como el peso almacenado de todas las celdas que influyen en cada pixel de pendiente descendente en el raster de salida, este mapa debe ser combinado con el mapa de dirección de flujo, que también se debe procesar en la herramienta ArGis, el procedimiento para realizar este mapa será publicado posteriormente por el investigador.

En los gráficos siguientes (Figura 152), podemos observar la metodología de este mapa según (ESRI-ArGisDestock), 2018, la imagen superior izquierda muestra la dirección de viaje desde cada celda y la superior derecha muestra el número de celdas que fluyen hacia cada una de las celdas, cabe recalcar que se puede identificar el número de celdas necesario para este tipo de análisis, Ver mapa de acumulación (Figura 153)

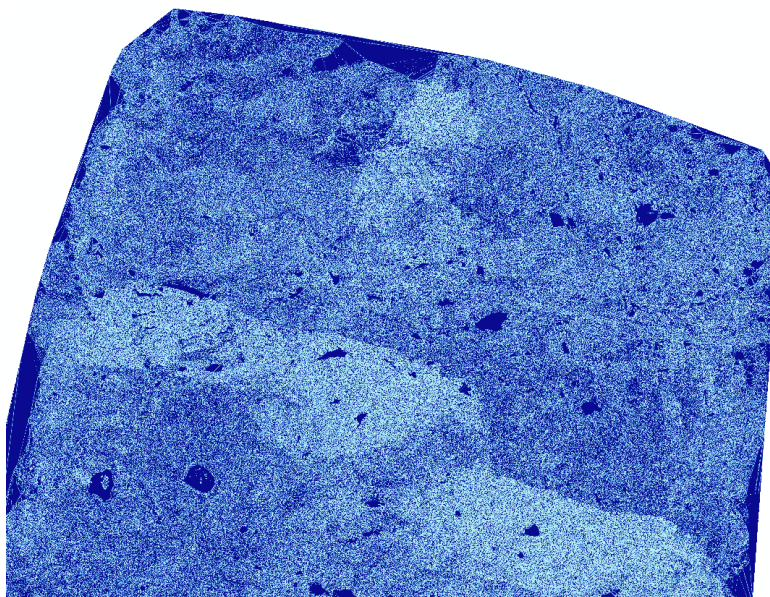
Figura 157: Mapas de acumulación de flujo, Características.



Nota: En esta imagen se muestra como la herramienta Arcgis toma valores de dirección en cada pixel o celda para luego darle valores y como archivo de salida dar un mapa de acumulación, Recuperado:

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm>

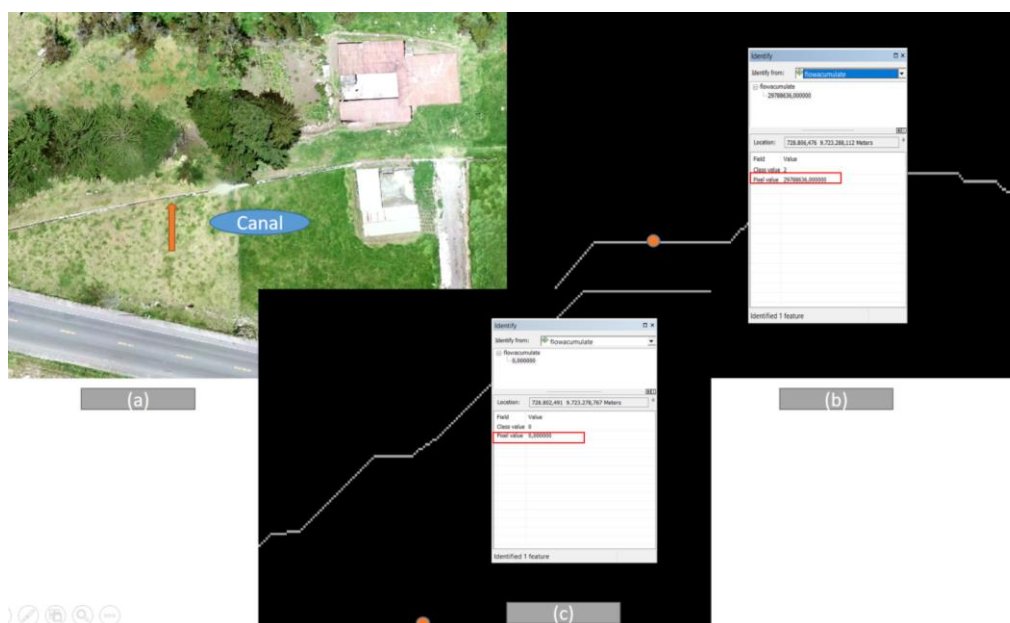
Figura 158: Mapa flujo de acumulación - Estabilidad



Nota: Mapa de flujo de acumulación procesado en el software ArGis.

Antes de analizar el mapa de flujo de acumulación la herramienta nos muestra un mapa que es capaz de identificar los factores comentados anteriormente, ejemplo: en la imagen siguiente del deslizamiento “Cachi”, se nota que el software detecto un canal que cruza la zona inestable (Figura “a”), en la (Figura “b”) muestra dicho canal con una línea de color blanco, donde se puede observar con zoom que es una línea de píxeles de color, además se observa que ese pixel tiene un valor alto, en la (figura “c”), nos alejamos del canal detectado por la herramienta y clicamos en un pixel diferente, muestra que tiene valores menores hasta llegar a cero, donde se debe interpretar que no existe zonas de acumulación o se encuentra en la parte alta de la topografía, como la cima de un lomo. Estos valores son importantes al momento de generar el mapa, pues es una condicionante para observar lo que a simple vista es imposible.

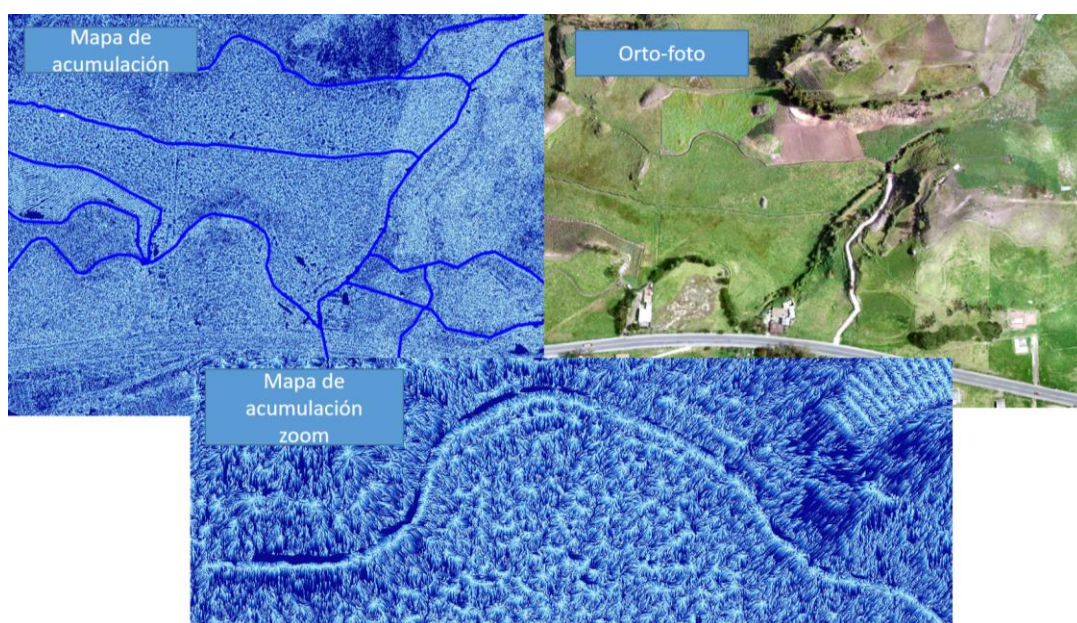
Figura 159: Valor de pixel detectado



Nota: es importante conocer estas cifras para editar el mapa de acumulación como veremos posteriormente.

De esta forma, se debe identificar cada una de las cunetas, arroyos, quebradas, lagunas de agua que existen en la zona, como recomendación se debe asignar colores a las líneas de valores altos de pixel (líneas de flujo), su representación puede verse mejorada si asignan valores altos a los colores donde existe acumulación de flujo y valores pequeños a todos los demás colores de píxeles, de esta manera:

Figura 160: Identificación de líneas de flujo



Nota: se identifica claramente las cunetas, arroyos y quebradas en el Mapa flujo de Acumulación

Figura 161: Línea de Flujo

Nota: Muestra las líneas de flujo que alimentan a esta zona de recarga en la parte baja del talud.

Figura 162: Línea de Flujo

Nota: La línea de flujo (color azul), muestra las líneas de flujo con las direcciones en la que esta puede ser alimentada dicha cuneta.

Realidad Aumentada

○ Definición.

La realidad aumentada (RA) o augmented reality (AR), es una tecnología bastante reciente, este conjunto de técnicas combina la realidad (lo que el hombre puede observar) y la tecnología Virtual (las maquinas, computadoras, y objetos que puedan ser o no verdaderos), comenta (KZgunea, 2014).

La (RA) tiene como finalidad interactuar con las personas a través de la realidad física de un objeto en tiempo real, esta tecnología viene creciendo a pasos agigantados, por aquello se creó que es parte del futuro realizar diseños, modelos, informes de estabilidad, y difundirlos usando técnicas de realidad aumentada, de esta manera cualquier Ingeniero que tenga un teléfono celular, será capaz de observar el estado del deslizamiento actual, su topografía o el diseño de obras de mitigación, además de poder acercarlo, girar y alejar el modelo en tres dimensiones, o simplemente analizar el problema con su grupo de trabajo a cualquier tipo de escala.

¿Que es necesario para crear y disfrutar de la realidad aumentada?

Solo es necesario una pantalla, computador o dispositivo móvil, en el cual se visualizar la parte real captada por la cámara y el añadido virtual.

También se puede usar una cámara web, de esta forma se captará la realidad y se transmitirá la información al programa.

Software: Programa que recoge los datos reales y los transforma a realidad aumentada.

Marcadores: son unas plantillas con un código (similar al código QR), el programa activa la cámara para realizar el escaneo y luego de detectar dicha figura en el monitor aparecerá la información captada.

En esta investigación se realizó modelación en tres dimensiones, dicha proyecto se creó a través de mallas y texturas generadas por un software fotogramétrico.

Estos modelos 3D son archivos de gran tamaño ya que cuentan con mucha información como las coordenadas de la zona, su textura y detalle topográfico; La tecnología de realidad aumentada no tiene softwares de gran resolución que sean capaces de aceptar archivos de grandes dimensiones, y tampoco puede abrir determinados formatos, el formato ideal para usar programas de “RA” son archivos de tipo .png, pero ningún software fotogramétrico realiza la exportación al formato mencionado, como solución se usó otro software de la empresa Autodesk, denominado 3dsMax, donde se redujo la escala de la modelación, borrando datos innecesario para que el archivo tenga un tamaño menor luego se exporto ese archivo a uno que sea capaz de leerlo el software de RA y posteriormente se usó el Visor de Realidad Aumentada de la marca Microsoft, que muestra el siguiente resultado:

1.5.17 Resultados: Realidad Aumentada.

Figura 163: Visor de Realidad Aumentada

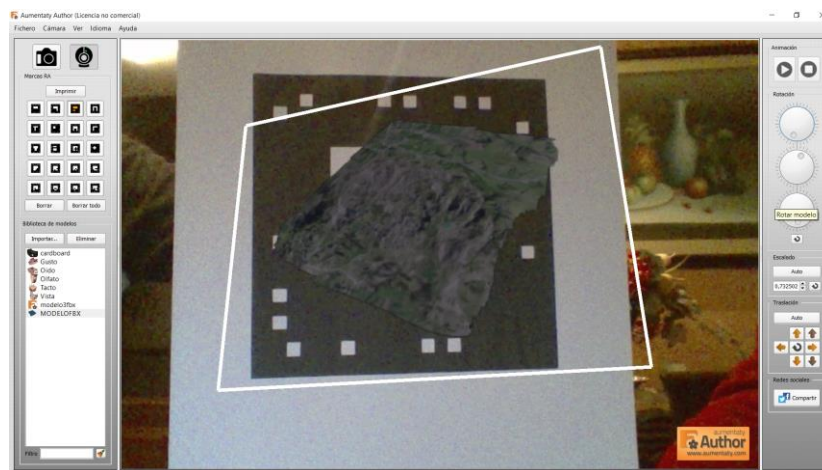


Nota: Modelación 3d obtenida a través de fotogrametría digital.

Aunque esta modelación es bastante exitosa solo funciona en Sistemas Windows, así que realizar una modelación usando el software libre llamado *Aumentaty Author*; El software permite crear de manera fácil y rápida, proyectos de realidad aumentada en los que se podrá asociar elementos 3D, y luego se podrá compartir en diferentes redes de difusión. Recuperado (<http://www.aumentaty.com/community/es/software/>, 2018)

Para que esta aplicación funcione se debe descargar en su computador el software y en su celular la aplicación, antes de iniciar el software se debe asegurar que la modelación fotogramétrica se encuentra en formatos aceptados, (se realizó la exportación desde el software 3DMax de Autodesk), y se imprimió un código QR, la misma que muestra el siguiente resultado.

Figura 164: Visor de realidad Aumentada con "Aumentaty Author"



El resultado es alentador y sería interesante que se empiece a usar la tecnología a una escala mayor, usando cámaras, pantallas de mayor tamaño y resolución, ya que en la actualidad se modelan objetos pequeños como mesas o sillas, se piensa que sería exitoso un estudio en el cual, en vez de una foto de un deslizamiento se encuentre un formato QR, y que cualquier persona desde su móvil pueda mirar el problema en tres dimensiones, se opina que al realizar “RA” se visiona un entorno físico del mundo real, es decir los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales logrando de esta manera crear una realidad en tiempo real, usar esta metodología es ir un paso más allá, ya que sobre la realidad del mundo físico existe la realidad material, el Ingeniero mezclara estas dos realidades encontrando virtudes al realizar estudios usando esta técnica, también su difusión debería venir de la mano de la tecnología.

CONCLUSIONES:

Esta investigación ha demostrado ser de valiosa importancia, por toda la información que nos brinda al momento de realizar una evaluación, seguimiento y análisis de estabilidad de

taludes y laderas, se demostró que todas las exploraciones tanto en el uso de las aeronaves son fáciles de obtener y procesar usando la técnica establecida en esta tesis.

Las fotografías aéreas antes y después de su procesamiento son capaces de brindarnos información cualitativa sobre las características y rasgos superficiales de la zona en estudio, además que nos permite cubrir toda el área de influencia en una sola salida a campo, esto facilita y da una perspectiva diferente al Ingeniero que usa esta técnica al momento de analizar y estudiar la zona inestable.

El uso de estos aparatos voladores denominados UAVs son la herramienta de trabajo adecuada para este tipo de estudios, ya que con ella se puede reducir tiempo de trabajo en campo y obtener resultados de alta calidad a bajos costos, siendo más precisos y detallados que los aparatos convencionales, ofreciendo todas las ventajas comentadas a lo largo de esta investigación.

La herramienta que planteamos usar para este tipo de estudios es fácil de pilotar, transportar, además son económicas y existe una gran variedad de empresas que se dedican a la fabricación de este tipo de vehículos aéreos, por lo tanto, su adquisición también nos da ciertas facilidades.

✓ **Referente a su aplicación y ejecución:**

Esta aeronave de tipo Cuadricoptero, dio excelentes resultados tomando en cuenta que siempre estuvo alterado por vientos fuertes de aproximadamente 45km/h, soporto este tipo de vientos y logró realizar su trabajo sin inconvenientes pues es bastante robusto y fuerte.

Para el caso de cartografía de altas pendientes el uso de estos aparatos es indispensable ya que se cuida al personal de trabajo y realizar un proyecto a detalle y en corto tiempo, la base para realizar este tipo de trabajos es su plan de vuelo, con un diseño de plan de vuelo correcto el aparato no sufrirá problemas al momento de sobrevolar la zona, por lo que será capaz de tomar fotografía de gran resolución cuidando el “GSD” o tamaño de pixel, ya que es una de las características principales para llegar a obtener resultados de calidad. Cabe recalcar que la

ubicación y número de puntos de control terrestres “GCP”, es fundamental en un plan de vuelo, ya que esta característica nos permitirá escalar y obtener altas precisiones en nuestros resultados reduciendo el error de la geolocalización de las imágenes, de esta manera será una mejor opción que la metodología convencional.

Gracias a la tecnología de fotogrametría digital y visión computacional, se obtiene información cuantitativa creando Modelos digitales de terreno “MDT” de alta calidad y precisión, accediendo a usar esta información en otros softwares e implantarlos en su verdadero espacio y posición. Fotogrametría nos permite realizar modelación en 3D para tener el problema a escala en nuestro computador, ayudando a mejorar la toma de decisiones tanto en estudio como en diseño

✓ **Referente a los softwares de Fotogrametría digital:**

Después de realizar varios procesos en Pix4d Mapper y Agisoft de PhotoScan con una cantidad total de 5541 imágenes aéreas, que fueron procesadas por tres computadores de características similares durante 4 semanas las 24 horas del día, tratando de encontrar diferencias significativas entre estos dos softwares pudimos determinar lo siguiente:

- **Características:**

Tabla 4: Características de Pix4d vs Agisoft PhotoScan

PROGRAMA	PLATAFORMA	LISCENCIA
Pix4D	Windows, OSX (Beta), Online	ANUAL: 3500 DOLARES \$
		MESUAL: 350 \$
		PERPETUA 8500 \$
PhotoScan	Linux, OSX, Windows	Professional Edition: 3500 \$
		Standard Edition: 179 \$

- **Procesamiento:**

Para este proceso se realizó 25 vuelos, se usó 28 baterías, se realizó los vuelos a diferentes alturas entre 120 m, 90 m y 60 m, con solapes de 70 % lateral y 75% frontal, teniendo un total de entre 1300 y 2000 fotos entre cada altura para procesar.




Tabla 5: Tiempo de procesamiento Pix4d vs Agisoft

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES ENTRE "1700 Y 2000" FOTOS					
	Orientación	Nube de puntos densa	Modelación 3d	Ortomosaico	DEM
Pix4D	2 horas	9 horas	1,37 horas	20 minutos	35 minutos
PhotoScan	2,45 horas	24 horas	2,57 horas	15 minutos	10 minutos

Fuente: Elaboración Propia




En el siguiente cuadro podemos ver la información obtenida según los vuelos realizados entre 60- 90- 120 m, Ver Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6: Adquisición de importación

Altura de vuelo	Imágenes obtenidas con UAV y cámara ZENMUSE X3
120 m	
90 m	
60m	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Comparación entre las alturas de vuelo y los GSD aproximados

ALTURA DE VUELO	RECORTE DE IMAGEN ORTORRECTIFICADA	GSD cm/px	Escala	ESTÁNDARES CARTOGRÁFICOS
120m		6.5 cm/px	1:100	IGM: Escala adecuada para realizar cartografía
90m		5.0 cm/px	1:800	Escala propuesta ya que es precisa según los objetos que se puede visualizar
60m		4.2 cm/px	1:500	Escala excelente para realizar trabajo de catastros.

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en las imágenes anteriores se obtuvo distintos valores al realizar el mismo procesamiento, en este caso se propone usar una altura de 90 m ya que gracias al tipo de sensor que tiene el UAV se obtuvo una precisión de 5 cm/pix, que es mas que suficiente para este tipo de análisis.

○ **Para establecer la altitud y velocidad de vuelo:**

En general este tipo de pautas son exclusivas de la configuración y el tipo de sensor que tenga el UAV, en este caso debido a que la configuración de la cámara Zenmuse X3 funciona de manera completamente independiente a la aplicación PIX4D Capture, la misma que se usa en esta investigación para planificar el vuelo, por lo que se debe ajustar las configuraciones de traslape frontal y lateral para producir una superposición adecuada para este tipo de estudios.

Después de una serie de vuelos a distintas velocidades y diferentes alturas se realiza una tabla en la que el Ingeniero se pueda guiar y determinar la configuración adecuada para un vuelo de UAV en zona montañosa, esta tabla puede ser validada para la mayoría de UAV de bajo costo de la marca DJI.

Tabla 8: Establece la altitud, velocidad y superposición

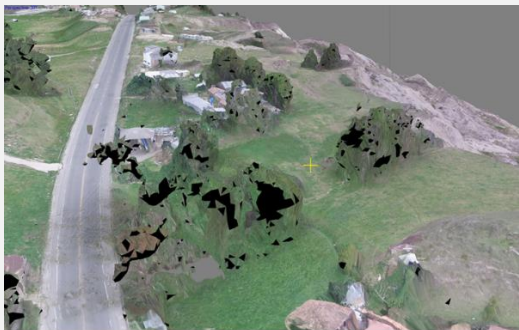
		SOLAPAMIENTO DESEADO		
ALTITUD (m)	VELOCIDAD (m/s)	10%	20%	30%
60	10	60/75	65/75	70/75
	12	60/65	65/65	70/65
90	10	60/80	65/80	70/80
	12	60/75	65/75	70/75
120	10	60/85	65/85	70/85
	12	60/70	65/70	70/70


Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber realizado esta investigación se recomienda volar a una altura de 90 m, a una velocidad de 12 m/s ya que en la zona de estudio como se comento anteriormente es difícil sobrevolar porque existen vientos de hasta 45 km/h lo cual no permite al UAV desplegarse a velocidades de 15 m/s pues su autonomía descende de manera brusca, ya que el sistema del UAV se encuentra diseñado para que el aparato intente estabilizarse todo el tiempo lo cual no

es recomendable, por lo tanto, si el Ingeniero quisiera volar a una altura de 90m y a una velocidad de 12m/s con 30 % de superposición deberá chequear la tabla 8 y configurar en la aplicación Pix4d Capture la superposición lateral de 70% y la frontal de 75%, esta altura, velocidad y solape es la que se recomienda porque además nos muestra un excelente resultado al momento de realizar una modelación 3D de la zona, como podemos verificar en la siguiente tabla:

Tabla 9: Diferencia Modelación 3D Vs Altura Vs Numero de fotografías

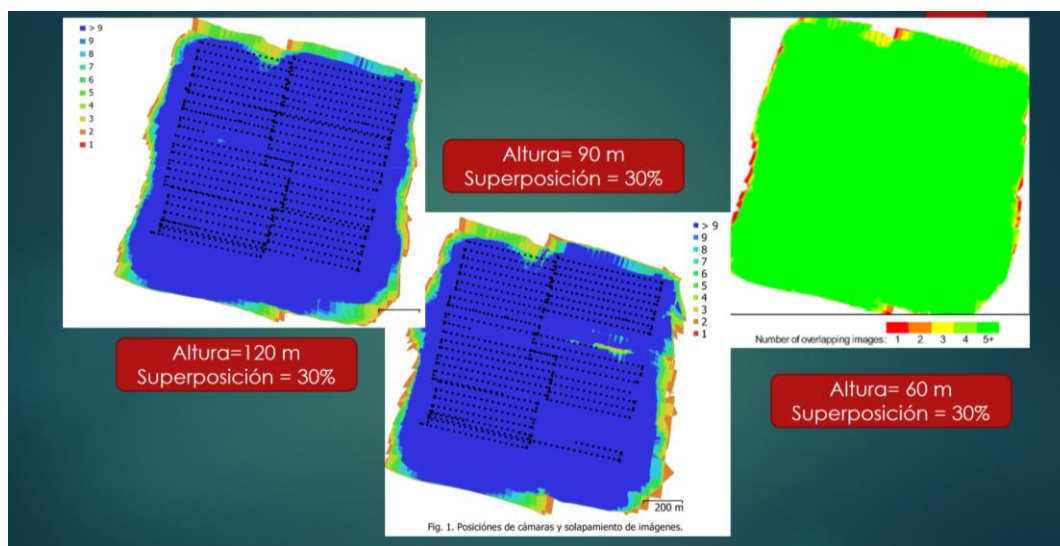
ALTURA DE VUELO	MODELACIÓN 3D	Angulo Cámara	OBSERVACIÓN Numero de Imágenes
120m		90°	Se visualiza una modelación 3D pobre, debido al tamaño de pixel, y Angulo de cámara. <u>1367 Imágenes</u>
90m		90°	Se visualiza una modelación 3D aceptable, con un tamaño de pixel optimo. <u>1748 Imágenes</u>

60m		Se visualiza un modelo 3D muy parecido al anterior no mejora mucho. <u>2426 Imágenes</u>
-----	---	--

Fuente: Elaboración Propia

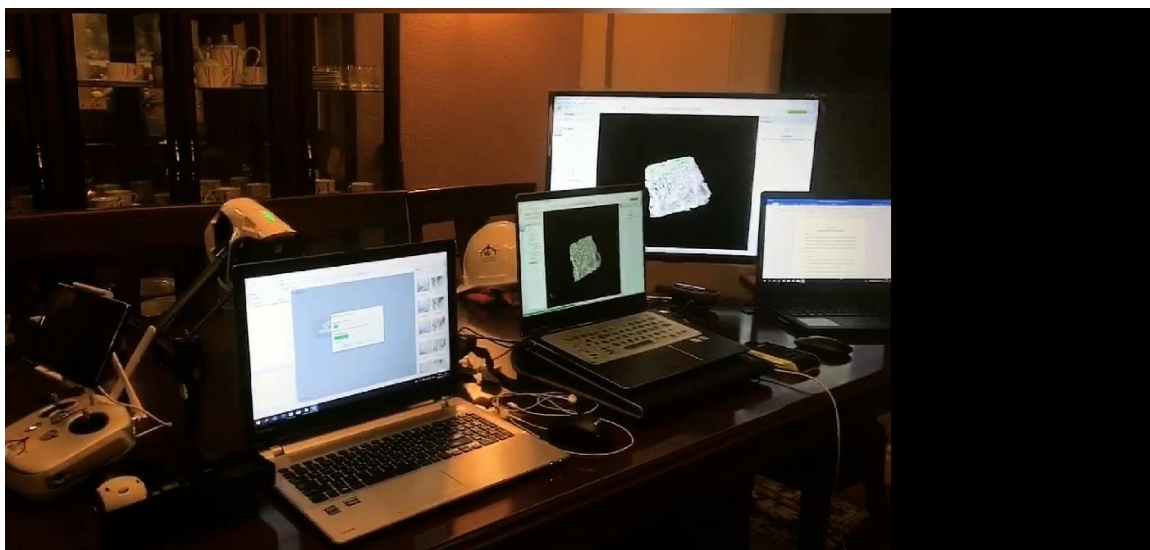
Los softwares usados son bastante completos y son capaces de informarnos sobre el solapamiento de las imágenes usadas, antes de seguir su procesamiento, esto nos ayuda a determinar si nuestro vuelo en campo fue el correcto, ya que, al no cumplir este requisito, el resultado del procesamiento no será eficiente y mostrará distintos problemas, en la siguiente imagen podemos observar la posición de cámaras según la altura con una superposición del 30%.

Figura 165: Solapamiento de Imágenes vs Altura de Vuelo



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente figura 160, podemos observar el área de oficina y el número de computadores usados para realizar esta investigación, las mismas que tuvieron un arduo trabajo y juegan un papel importante al momento de realizar dichos procesamientos.

Figura 166: Área de gabinete y Procesamiento

Nota: Fue un Arduo proceso de muchas horas, pero con excelentes resultados

Tabla 10: Número de puntos, Pix4D Vs Agisoft

	DENSIDAD DE PUNTOS			
	PUNTOS DE ENLACE	NUBE DE PUNTOS Densa	TIPO DE ZONA	VEGETACIÓN
Pix4D	374711	66,724.244	AREA MONTAÑOSA	Media
PhotoScan	385,693	40,912.721	AREA MONTAÑOSA	Media

Nota: claramente Pix4d muestra mayor información que fue capas de enlazar en el proyecto, esto quiere decir que encontró entre todas las fotos mayor puntos de coincidencia para su posterior modelación de la zona.

- Modelación:

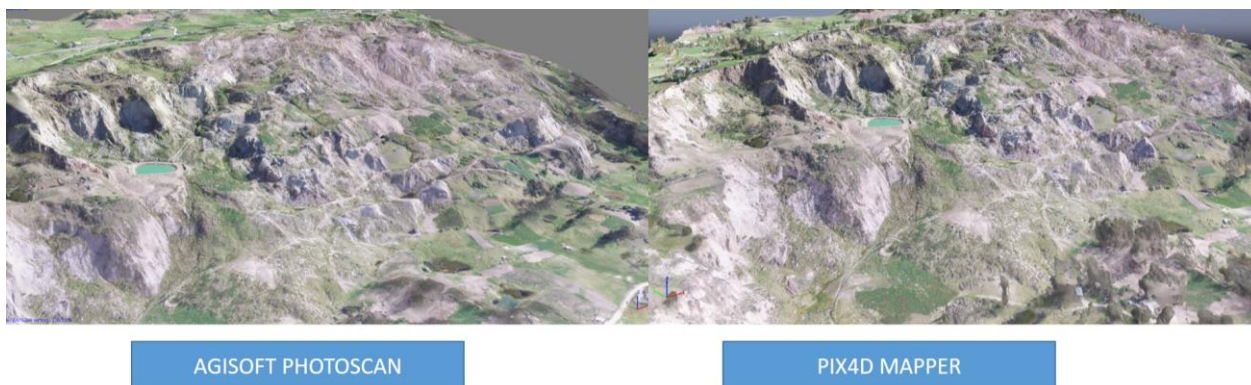
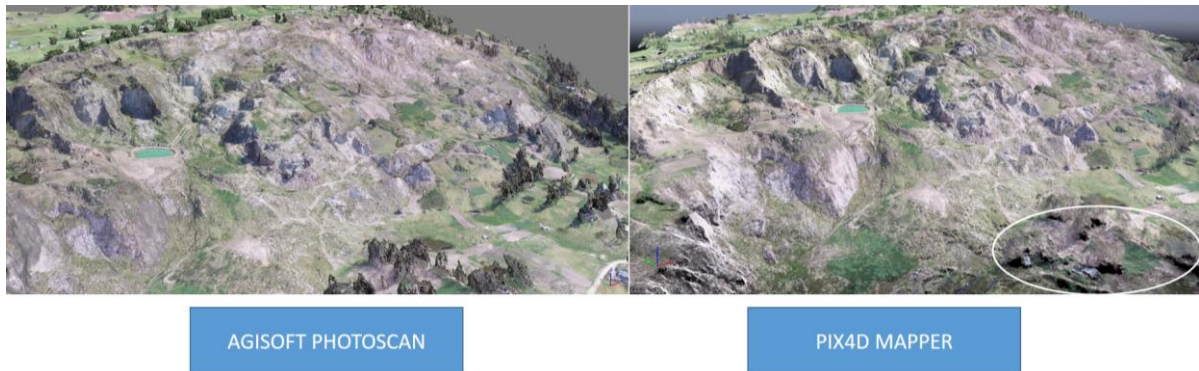
Figura 167: Modelación en tres dimensiones y texturas vs Softwares

Figura 168: Nube de puntos densa, Comparación Softwares



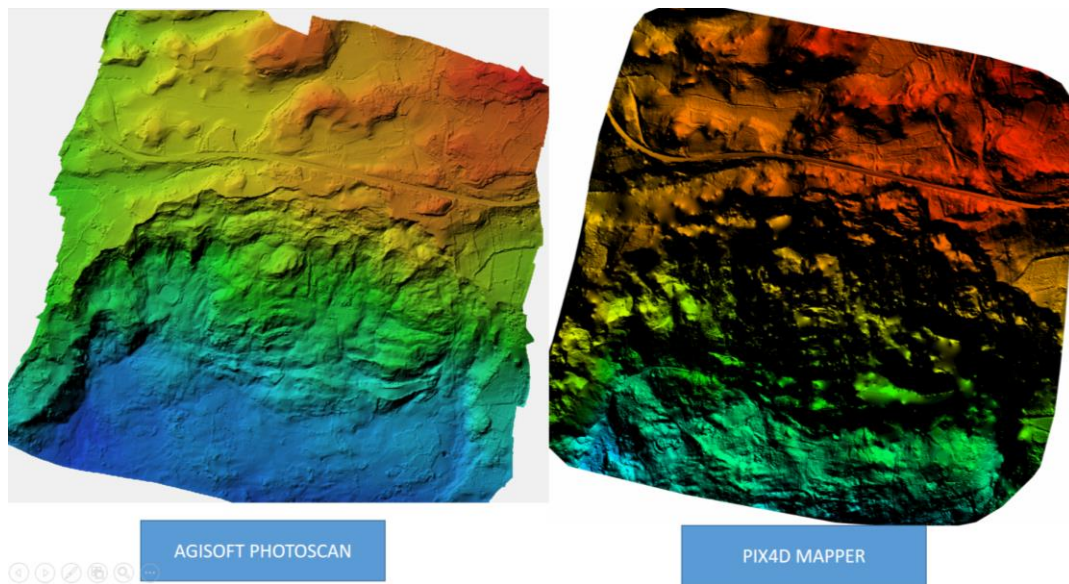
Se puede notar en la modelación 3D (Figura 161), que el software Agisoft modela bastante bien la zona además que permite modelar la zona sin estructuras, por su parte el software Pix4D también realiza un excelente trabajo en modelación, esto no se evidencia en la nube de puntos densa (Figura 62), pues se nota que el software Pix4D tuvo problemas con encontrar puntos de coincidencia donde existe vegetación dejando unos espacios en negro, por su parte Agisoft pudo modelar la zona de mejor manera.

Figura 169: Ortomosaico vs Softwares



Las Ortofotos de ambos productos son excelentes la verdad no se diferencia mucho una de la otra, aunque ya más detalladamente en una pantalla 4K se nota que tiene mejor resolución la Ortofoto de Pix4D.

Figura 170: Modelo digital de terreno vs Softwares



Claramente el Modelo digital de PhotoScan es mucho mejor que Pix4D, ya que se encuentra libre de brillo y zonas oscuras, además se puede notar que la clasificación de puntos fue mejor, pues personalmente impresiona la calidad del DEM de la herramienta Agisoft de PhotoScan.

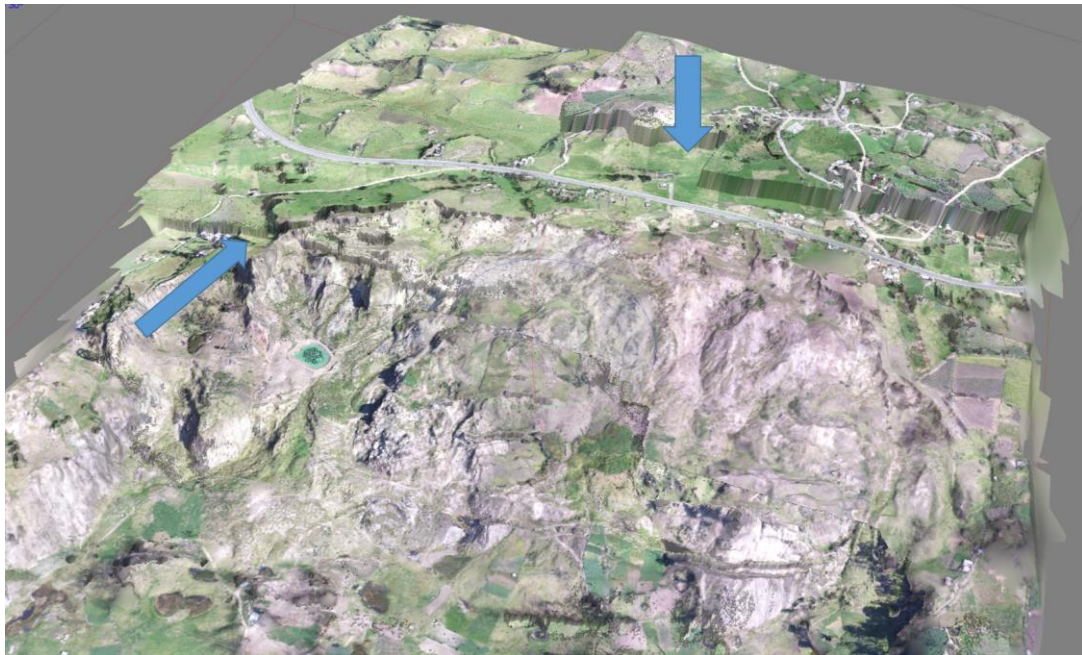
○ **Veredicto:**

Ambos softwares son eficientes en el proceso de adquisición de datos, vemos pros y contras en la obtención de resultados, puesto que cada uno de los softwares son capaces de resolver problemas fotogramétricos con una excelente claridad, es verdad que el software Agisoft de PhotoScan generó un DEM mucho más limpio y detallado que Pix4D, pero el tiempo en que lo hizo es también impresionante, concluimos que ambos softwares son excelentes y que en realidad depende del tipo de proyecto que se necesite realizar y el tipo de resultados que se necesita obtener, según ese criterio se puede elegir el tipo de software a usar.

Se puede comentar que en los demás vuelos se tiene casi los mismos resultados a una altura de 60m se obtuvo el mismo resultado que a 90m en este tipo de área tan grande, con la diferencia que el número de fotografías y el tiempo de procesamiento en ambos softwares fue mucho mayor al volar el aparato a 60m, se concluye que no quiere decir que si se tiene mayor fotografías mejores son los resultados de hecho el software se confunde al tener tantos puntos

de la misma fotografía creando modelos erróneos ver (figura 165) se puede usar altura de 60m si se levanta áreas más pequeñas. Sucede lo mismo a una altura de 120m la diferencia del GSD no es la mejor, ya que el tamaño del pixel fue de 6.5 cm/pix, no se aconseja cuando se desea tanto detalle.

Figura 171: Error nube de puntos densa



Nota: este error sucedió al realizar fotogrametría con demasiadas fotos a una altura de 60m, se levantó 180 hectáreas y fueron 2,000 fotos, el software capto demasiados puntos en las fotografías creando así errores en sus procesos.

○ **PRECISIÓN.**

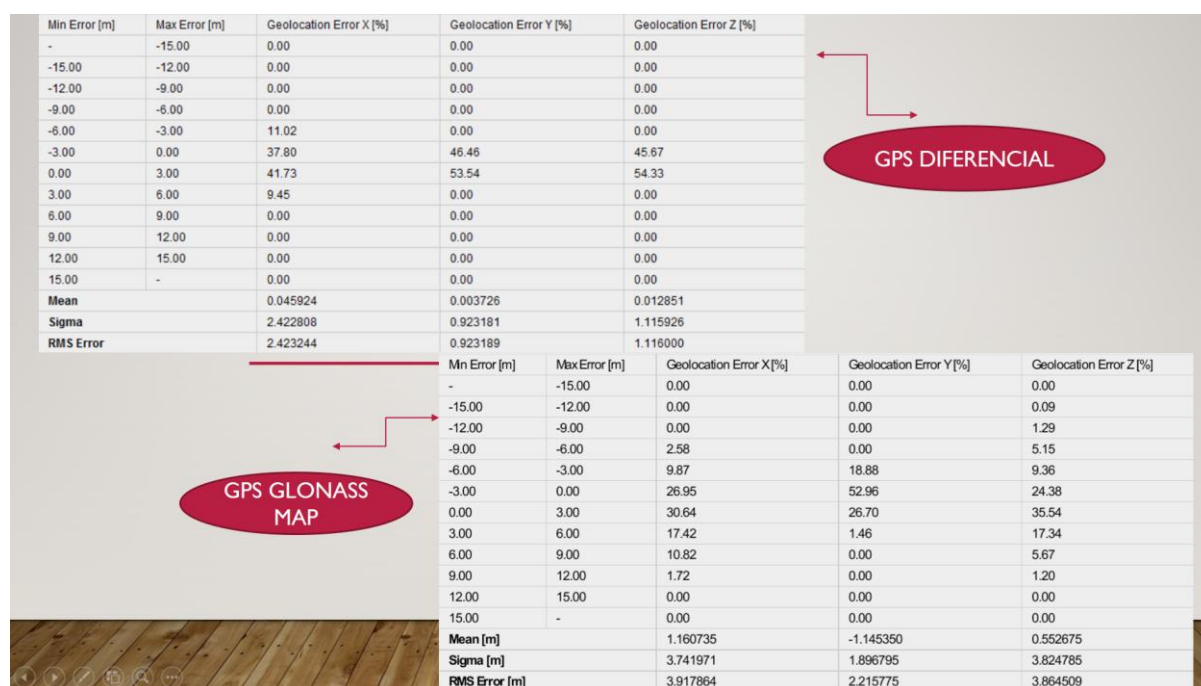
Existen dos tipos:

1. Interna o Relativa: Se define como el error que existe en la posición relativa entre dos puntos dentro de la zona del levantamiento y su correspondiente en la realidad; esta precisión es del orden de 10 cm y depende de la altura de vuelo, el traslape delantero y lateral del vuelo, usado para tomar las fotos y la utilización de líneas de vuelo ortogonales o unidireccionales. En general es mucho mayor que la precisión absoluta.

2. Absoluta: Se define como el error que existe entre un punto del levantamiento y ese mismo punto medido, respecto a un punto de referencia de la red geodésica nacional “IGM”, este error es del orden de cm, el error en Z (altura) es de 3 veces el error en XY, y se mejora colocando puntos de fotocontrol, tomados con GPS submétrico “RTK” en la zona de mapeo para que sean capturados en las fotos tomadas durante el vuelo. Este error puede bajar al orden de 3 cm en XY y a 9 cm en Z, con el uso de 3 a 5 puntos por cada 100 Ha. Dichos puntos de fotocontrol son en general provistos por el contratante del vuelo.

Variación de Geolocalización Absoluta

Figura 172: Variación de Geolocalización Absoluta



**Error mínimo [m] /
Error máximo [m]:**

El error mínimo y máximo representan los intervalos de error de geolocalización entre -1.5 y 1.5 veces la precisión máxima (de todas las direcciones X, Y, Z) de todas las imágenes.

**Error de
geolocalización X
[%]:**

El porcentaje de imágenes con errores de geolocalización en la dirección X dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las geolocalizaciones iniciales de la cámara y sus posiciones calculadas.

Error de geolocalización Y [%]:	El porcentaje de imágenes con errores de geolocalización en la dirección Y dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las geolocalizaciones iniciales de la cámara y sus posiciones calculadas.
Error de geolocalización Z [%]:	El porcentaje de imágenes con errores de geolocalización en la dirección Z dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las geolocalizaciones iniciales de la cámara y sus posiciones calculadas.
Media:	El error promedio / promedio en cada dirección (X, Y, Z).
Sigma:	La desviación estándar del error en cada dirección (X, Y, Z).
Error de RMS:	El error Root Mean Square en cada dirección (X, Y, Z).

Variación de geolocalización relativa

Figura 173: Variación de Geolocalización Relativa

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	73.82	99.14	98.54
[-2.00, 2.00]	99.40	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Las imágenes X, Y, Z representan el porcentaje de imágenes con un error de geolocalización relativo en X, Y, Z, en este caso son similares los errores de las imágenes geolocalizadas y calibradas en X,Y,Z, lo que significada que las imágenes no calibradas significan un error pequeño.

✓ Referente al estudio:

El macro-deslizamiento “Cachi” que tomamos como ejemplo es uno de los más grandes del Ecuador, gracias al análisis corto que se realiza como modelo y con ayuda de los aparatos voladores UAV, fotogrametría digital, tecnología de visión computacional, se observa que se trata de un deslizamiento activo mixto de tipo rotacional en la parte alta y traslacional en la parte baja, estos movimientos de masa rotacionales muestran morfología distintiva que se caracteriza por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente en la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

Se nota la presencia de materiales poco consolidados como los depósitos fluvio glaciares y morrenas, mismo que se encuentran afectados por grandes cantidades de agua determinadas en los mapas de flujo de acumulación, fotografía aérea y modelación en tres dimensiones, siendo este el principal detonante para la aceleración de la deformación interna de la masa desplazada. Teniendo en cuenta que este tipo de proyectos deben ser basados en un análisis interdisciplinario, se usó la modelación en tres dimensiones y todo los resultados obtenidos en esta investigación y se acudió a realizar una consulta a un colega y amigo Ing. Geólogo Edgar Cárdenas director de la consultora Consulingema Cia Ltda, con su ayuda se constató la geología regional y local de la zona ratificando la presencia de elevaciones similares a domos conocidos como “Drumlin” que son una forma de relieve de origen glaciar consistentes en pequeños montículos de laderas lisas de forma aerodinámica; lo que demuestra que en esta zona se generaron algunos eventos relacionados con una actividad glaciar y fluvio glaciar intensa, estos se encuentran formados por acumulación de sedimentos glaciares de tills y morrenas, ver modelación en la (Figura 144).

Entre estas elevaciones se han formado varias zonas de acumulación, donde las aguas tienden a formar cauces temporales originando humedales, ver (figuras 148, 1490), estas zonas no tienen un buen sistema de drenado por lo que se produce estancamientos y acumulación que no es evacuada, causando saturación especialmente en época de lluvia, esto genera infiltración subterránea hacia la parte baja del deslizamiento fruto de lo cual se ha dado la aparición de lagos y humedales, generando de esta manera la inestabilidad en la zona por saturación de estratos de materiales con pobres propiedades geo-mecánicas. Además, los procesos antrópicos como el mal uso de sistemas de conducción de agua para actividades agrícolas y almacenamiento, han generado procesos de inestabilidad gravitatorios debido al bajo grado de compactación y disminución de las propiedades mecánicas de los materiales, provocando el deslizamiento.

RECOMENDACIONES:

- El uso de aparatos UAV siempre debe ser tratado con precaución y profesionalismo, como se comentó anteriormente la base de un buen proyecto es una buena planificación de vuelo, en esta investigación la zona fue difícil de levantar por el problema de velocidades altas de viento y cambios climáticos como lluvia y presencia de niebla desde las 10 am hasta la noche, el plan de vuelo fue planificado para trabajar a primera hora en la mañana con el objetivo de realizar los vuelos pertinentes.
 - Siempre tener en cuenta que el UAV se encuentre en buenas condiciones sobre todo con sus motores para evitar pérdidas.
 - No es recomendable usar misiones automáticas sin saber dominar el aparato aéreo puesto que muchas de las veces existen errores y se debe regresar al punto de inicio de forma manual.
 - Usar casco y chaleco, para cuidarnos de cualquier inconveniente con el aparato y el chaleco para que a través de la cámara siempre reconozcamos donde nos encontramos en tierra, de esta manera sea más fácil regresar de forma manual hacia donde nos encontremos ubicados en emergencia.
 - Si es posible siempre no perder de vista el aparato UAV, y tener presente que su distancia y niveles de batería sean los óptimos para su regreso.
- ✓ **Respecto al procesamiento:**
- Con base al tipo de proyecto y zonas donde se realizó el vuelo, es importante determinar qué tipo de software usar, aunque se notó que es este tipo de zonas la diferencia de resultados no es grande, por lo tanto, cualquier software nos serviría para obtener resultados detallados.
 - Contar con sistema informático avanzado, pues aligera el tiempo de proceso.

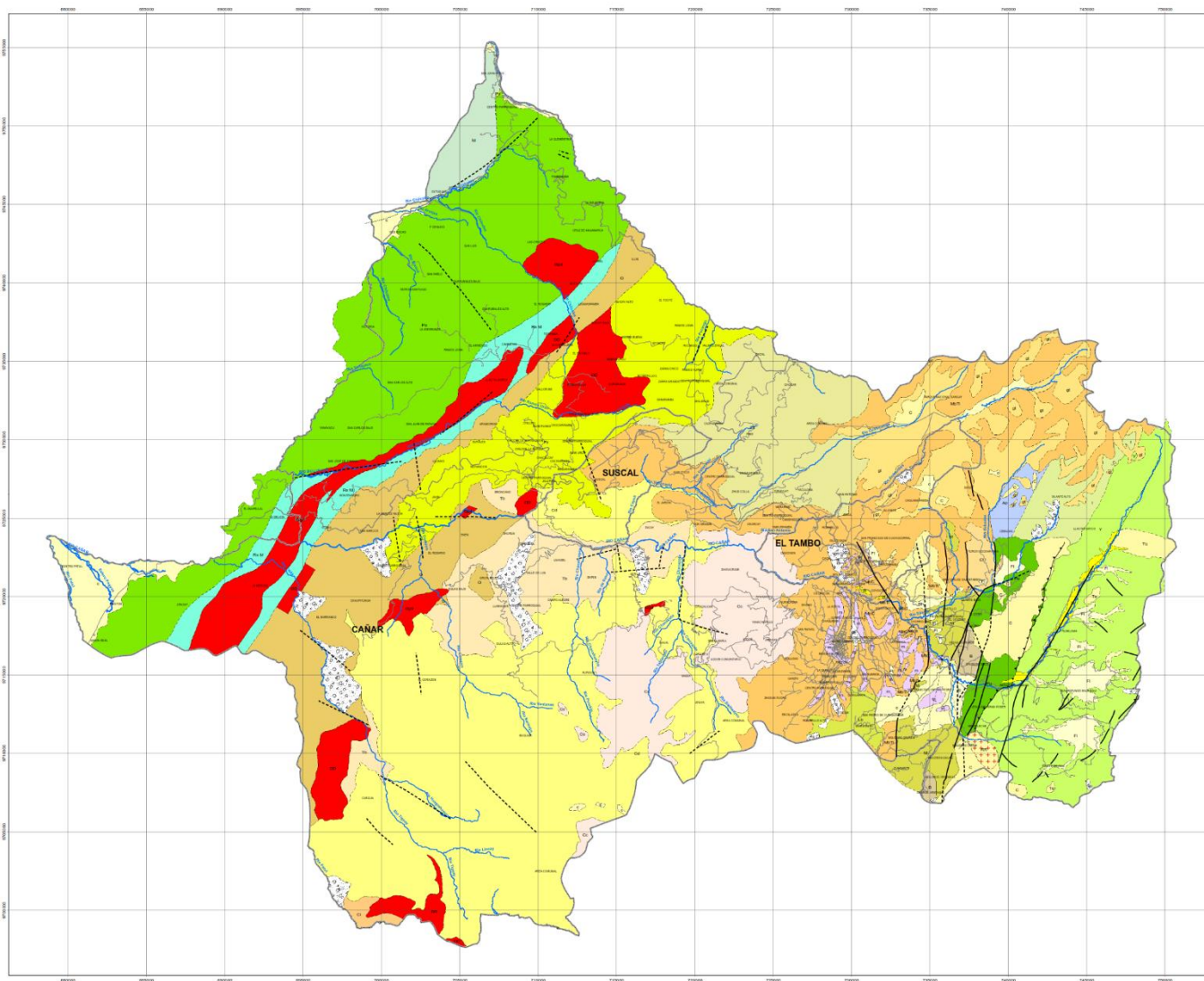
- Tener en cuenta los comentarios realizados a lo largo de esta investigación.
- Siempre calibrar los puntos de control en el software, es importante tomarse un tiempo en este detalle, para generar resoluciones y presiones adecuadas.

✓ **Respecto al Estudio:**

- Con el propósito de conocer la dinámica del deslizamiento cachi se propone realizar una campaña de investigación del subsuelo, con estudios de investigación geofísica y perforaciones exploratorias, las mismas que pueden ser diseñadas en las modelaciones y softwares explicados anteriormente, ganando tiempo y precisión en detalle tanto para su análisis como para la obtención de presupuestos.
- Se recomienda mantener un continuo monitoreo de los movimientos activos, estos pueden ser superficiales los mismos que pueden realizarse con aparatos UAV y GPS de tipo RTK de alta precisión, además de la instalación de inclinómetros, ubicados dentro del deslizamiento.
- Colocar piezómetros para el control de niveles freáticos.
- Construir un subdren profundo en la parte alta y hacia el lado derecho de la vía, para captar y bajar los niveles freáticos.
- Mantener un control integral de uso del agua, impermeabilizando zanjas, canales y reservorios, así como mejorando el sistema de distribución y riego.

ANEXO - 1

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



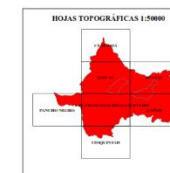
INVENTARIO Y PLANES DE MITIGACIÓN DE FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE TERRENOS EN LOS CANTONES CAÑAR, SUSCAL Y EL TAMBO DE LA PROVINCIA DEL CAÑAR

MAPA GEOLOGICO



SOLUCIONES INTEGRALES DE GESTIÓN DE RIESGO
FEBRERO - 2010

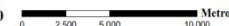
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



PROYECCIÓN Y ESCALA

Topografía: proyecto CODESARROLLO, escala 1:25000
Geología: Proyecto CODESARROLLO
SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL
Edición: GEORISK

ESCALA: 1:100,000



LEYENDA

GEOLOGÍA

— Via asfaltada	Deslizamiento, d	Unidad Punín, Py
— Via de homón	Cobertura y Suelo, c	Formación Cerro Clausen, Cd
— Via lastrada	Terraza de río, zt	Formación Chantad, Cd
— Línea férrea	Tilba, gt	Unidad Toribamba, Tb
— Río	Fluvio Lacustre y Terrazas Altas, R	Unidad Chulo, Cl
— Laguna	Morrena, M2	Formación Ocaña, O
— Límite comunal	Vorhinos Cerro Tabillas, Ct	Unidad Macachi, M
— Límite consensado	Formación Babilón, B	Formación Inapupura, I
— Faja Observada	Miembro Loma Burgay, Lb	Formación Yagualta, Y
— Faja Interfa	Miembro Culebrillas, C	Unidad Palatanga, Pa
— Faja Cuabrita	Formación Cisneros, Cs	Unidad Punín, Pu
— Cataguentos	Miembro Carac, Mb C	Intrusivo, Ggd, DD, RR
— Eje Anticinal Inter	Miembro Turi, Mb T	Unidad Alao Pauri, Ap
	Formación Mangán, M	Rocas Metamórficas, Rx M
	Formación Loyola, L	

ANEXO – 2

PLAN DE VUELO

PLAN DE VUELO

PROYECTO DESLIZAMIENTO “CACHI”

TAMBO- ECUADOR

Fecha: 27/ DICIEMBRE/2017

Dirección proyecto: Provincia del cañar, Cantón Tambo, Sector Cachi.



Coordenadas Proyecto: Coordenadas aproximadas, U.T.M, zona 17 M, DATUM

WGS84: Latitud 9723203.36, Longitud 728949.83, Hemisferio Sur.

➤ **Número de puntos de control (GCP) = 7**

Cotas del terreno:

➤ **Cota elevación máxima 3145 m**

➤ **Home 1 elevación.....3072 m**

➤ **Home 2 elevación.....3009 m**

➤ **Cota elevación mínima..... 2840 m**

CHECK-LIST PRE-VUELO			
Evaluación de riesgos / colisiones del vuelo	x	Antenas bien orientadas	x
Firmware actualizado Drone / Emisora	x	Compas calibrado	x
DJI actualizado	x	Altura RTH	65 m.
Baterías cargadas 100 %	x	Altura Máxima de vuelo	120 m.
Batería Tablet / Emisora cargada	x	Máxima distancia de vuelo	>700 m.
Gimbal liverado/Hélices aseguradas	x	Despegue / RTH de verificación	x
Tarjeta SD insertada	x	Señal de video	x
Brillo Tablet al máximo	x	Verificación Plan de Vuelo	x

Calculo de plan de vuelo:



Nota: tamaño del GSD

Nota: Líneas del Vuelos según dirección del viento

Perfil de vuelo para no perder “GSD”



Coordenadas de los puntos de Ubicación “GCP”

GCP 1

-2.5024123172439565, -78.94206567894396, 3073

GCP 2

-2.5020375584044543, -78.94522156256528, 3054

GCP 3

-2.5029437366331173, -78.94078834802926, 3082

GCP 4

-2.5063023801855926, -78.94926019280848, 2978

GCP 5

-2.503225563242732, -78.94750303985725, 3020

GCP 6

-2.5099915431431827, -78.94372588619864, 2887

GCP 7

-2.501406140858096, -78.94042218098848, 3074

Nota: Planificación de Vuelos

Lunes: 6am-9am

Martes: 6am-9am

Miércoles: 6am-9am

Jueves: 6am-9am

Viernes: 6am-9am

Sábado: 6am-9am

Domingo: 6am-9am

Vuelos por día: Tres pre-diseñados a diferentes alturas para esta investigación

ANEXO – 3

INFORMES SOFTWARES FOTOGRAMÉTRICOS

PIX4D MAPPER Y AGISOFT PHOTOSCAN

MACRO-DESLIZAMIENTO SECTOR "CACHI" AGISOFT PHOTOSCAN

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE "MEDELLÍN"
MAESTRÍA GEOTECNIA**

23 marzo 2018



Datos del levantamiento

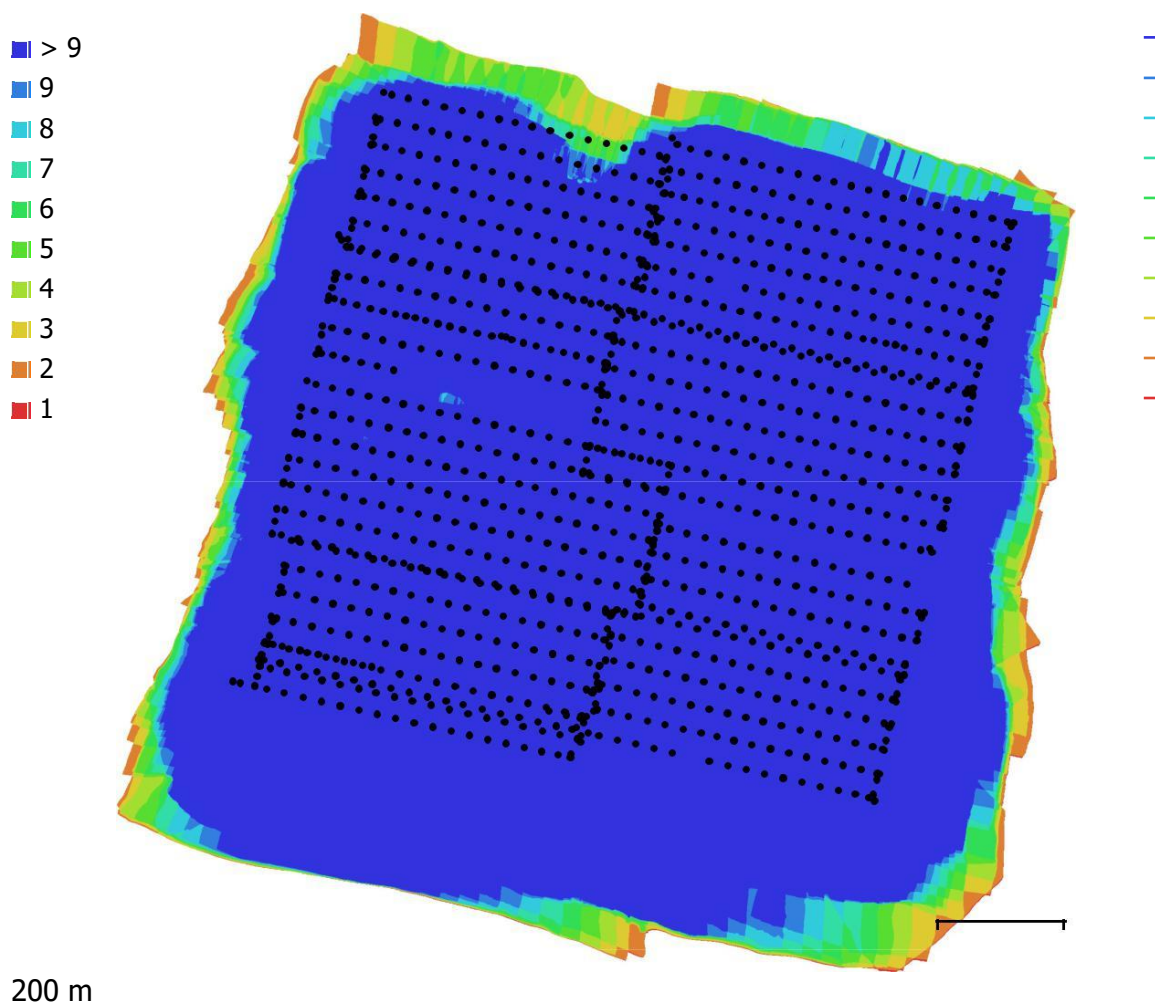


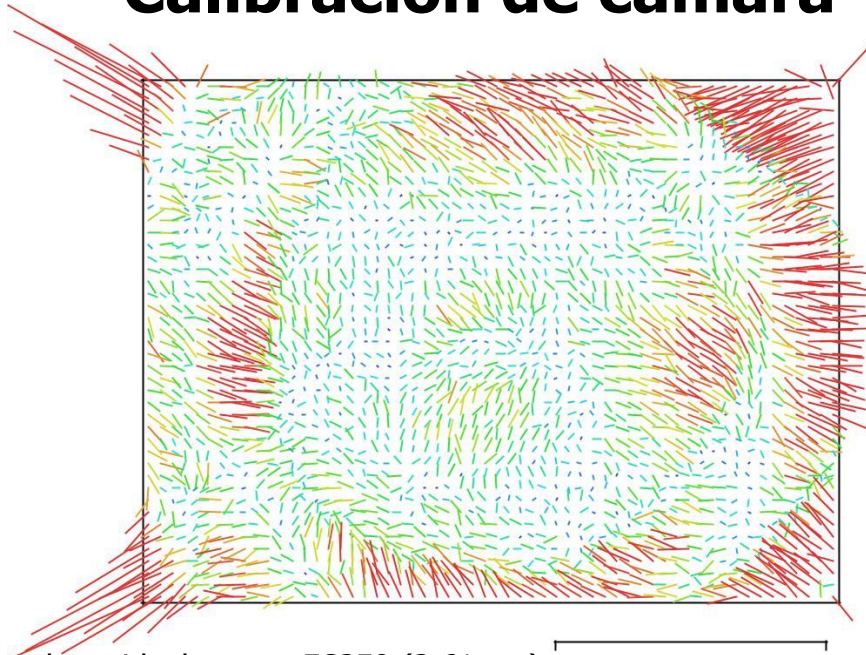
Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 1,212	Posiciones de cámara: 1,212
Altitud media de vuelo: 160 m	Puntos de enlace: 385,693
Resolución en terreno: 5.98 cm/pix	Proyecciones: 2,559,299
Superficie cubierta: 1.71 km ²	Error de reproyección: 0.695 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC350 (3.61mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara



1 pix

Fig. 2. Gráfico de residuales para FC350 (3.61mm).

FC350 (3.61mm)

1212 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
4000 x 3000

Distancia focal
3.61 mm

Tamaño de píxel
1.56 x 1.56 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	2348.48	0.081	1.00	-0.79	-0.52	-0.08	-0.09	-0.45	0.29	-0.14	0.13	0.27	0.09
Cx	-16.5233	0.0096		1.00	0.40	0.05	0.10	0.32	-0.17	0.05	-0.04	0.05	-0.10
Cy	25.9177	0.0058			1.00	-0.00	0.03	0.22	-0.14	0.06	-0.06	-0.15	0.30
B1	-3.13196	0.0034				1.00	-0.00	0.04	-0.03	0.02	-0.02	-0.02	-0.00
B2	0.538539	0.0033					1.00	0.04	-0.02	0.01	-0.00	-0.03	-0.03
K1	-0.138659	2.4e-05						1.00	-0.95	0.87	-0.82	-0.19	-0.07
K2	0.133411	7.3e-05							1.00	-0.98	0.95	0.09	0.02
K3	-0.0487418	9.3e-05								1.00	-0.99	-0.05	-0.01
K4	0.0157652	4.1e-05									1.00	0.04	0.00
P1	-0.000301218	7.8e-07										1.00	0.09
P2	-0.000160104	5.7e-07											1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

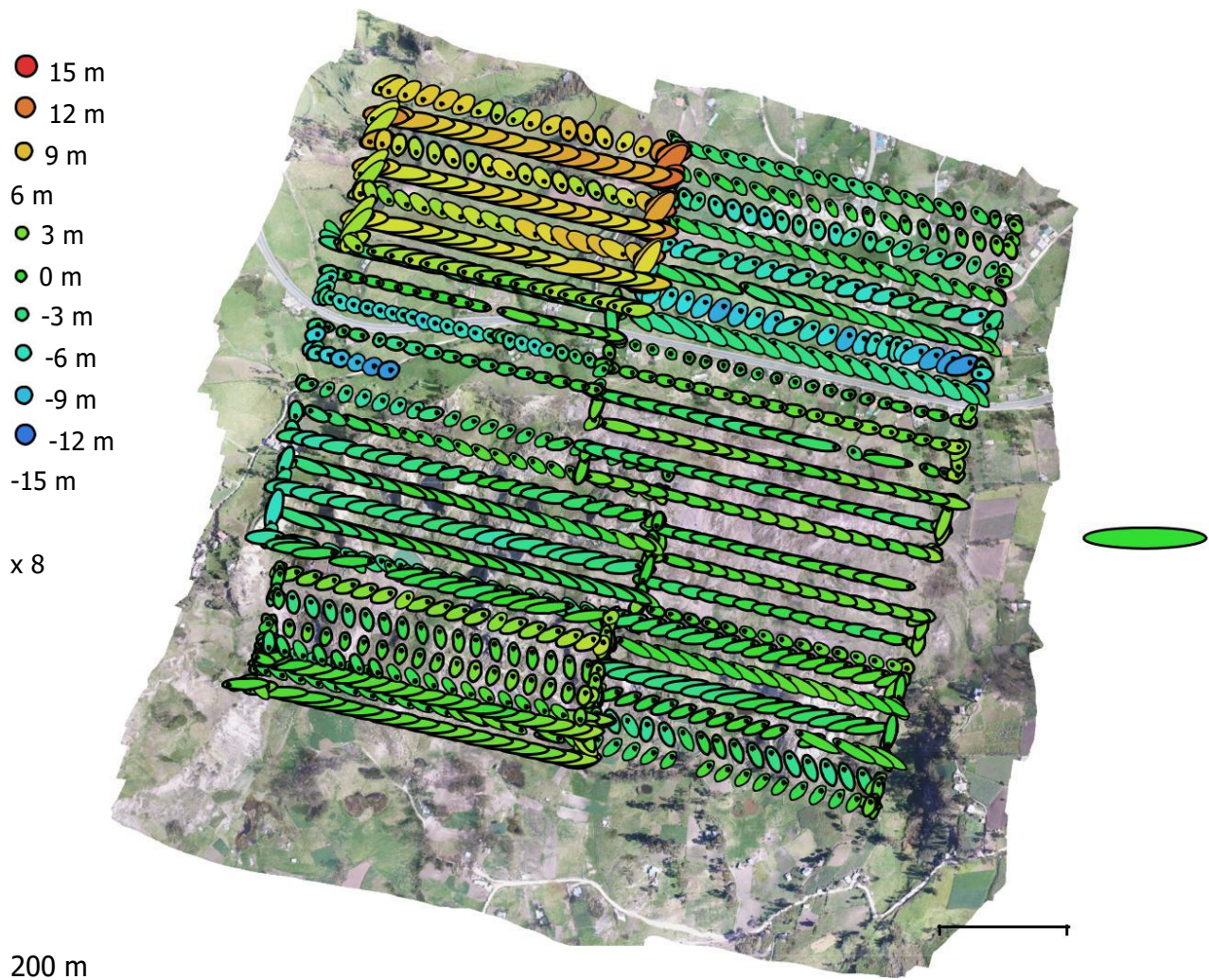


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
3.68677	1.50689	3.95075	3.98283	5.60994

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

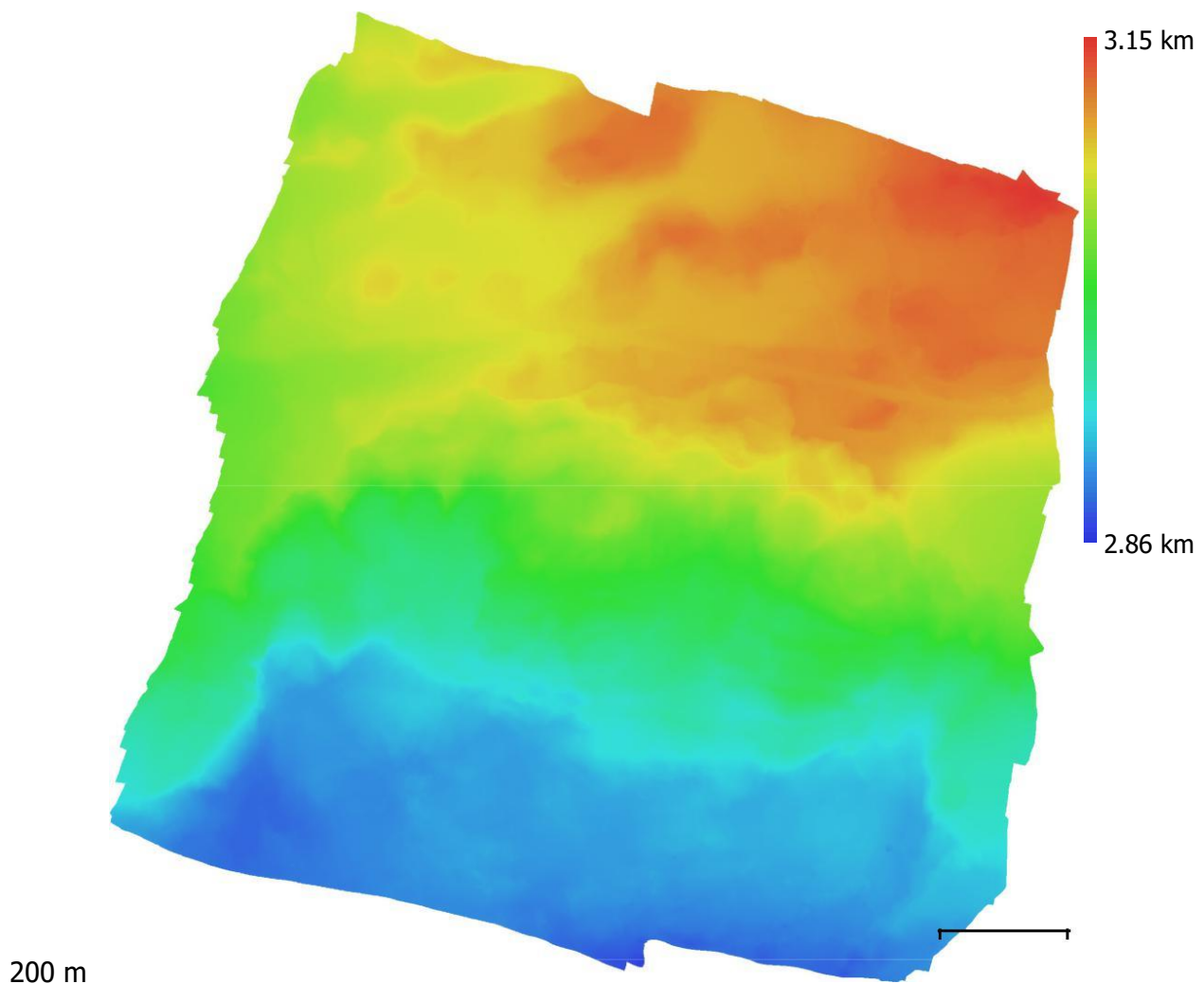


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 23.9 cm/pix
Densidad de puntos: 17.5 puntos/m²

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	1212
Cámaras orientadas	1212
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	385,693 de 545,123
RMS error de reproyección	0.203117 (0.695464 pix)
Error de reproyección máximo	0.621736 (47.97 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.05799 pix
Superposición efectiva	10.2697

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	7 horas 21 minutos

Nube de puntos densa

Puntos	40,912,721
--------	------------

Parámetros de reconstrucción

Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Moderado
Tiempo de generación de mapas de profundidad	1 día 3 horas
Tiempo de generación de nube de puntos densa	7 horas 55 minutos

Modelo

Caras	2,679,348
Vértices	1,343,178
Textura	4,096 x 4,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Moderado
Número de caras	2,727,514
Duración del procesamiento	1 minuto 36 segundos

Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Enable ghosting filter	No
Tiempo de mapeado en UV	55 segundos
Tiempo de mezcla	36 minutos 45 segundos

Modelo de teselas

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente	Nube de puntos densa
Tamaño de tesela	256
Duración del procesamiento	3 horas 39 minutos

DEM

Tamaño	7,876 x 7,644
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)

Parámetros de reconstrucción

Datos fuente	Nube de puntos densa
--------------	----------------------

Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	1 minuto 44 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	25,440 x 25,464
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Canales	3, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	54 minutos 58 segundos
Software	
Versión	1.4.0 build 5650
Plataforma	Windows 64

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.1.25

- Important:** Click on the different icons for:
- Help to analyze the results in the Quality Report
 - Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	DESLIZAMIENTO CACHI- MAESTRIA1
Processed	2018-03-19 10:44:28
Camera Model Name(s)	FC350_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.69 cm / 2.24 in
Area Covered	1.649 km ² / 164.9280 ha / 0.64 sq. mi. / 407.7568 acres

Quality Check

Images	median of 3378 keypoints per image	✓
Dataset	1165 out of 1748 images calibrated (66%), all images enabled	⚠
Camera Optimization	2.52% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 1051.41 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

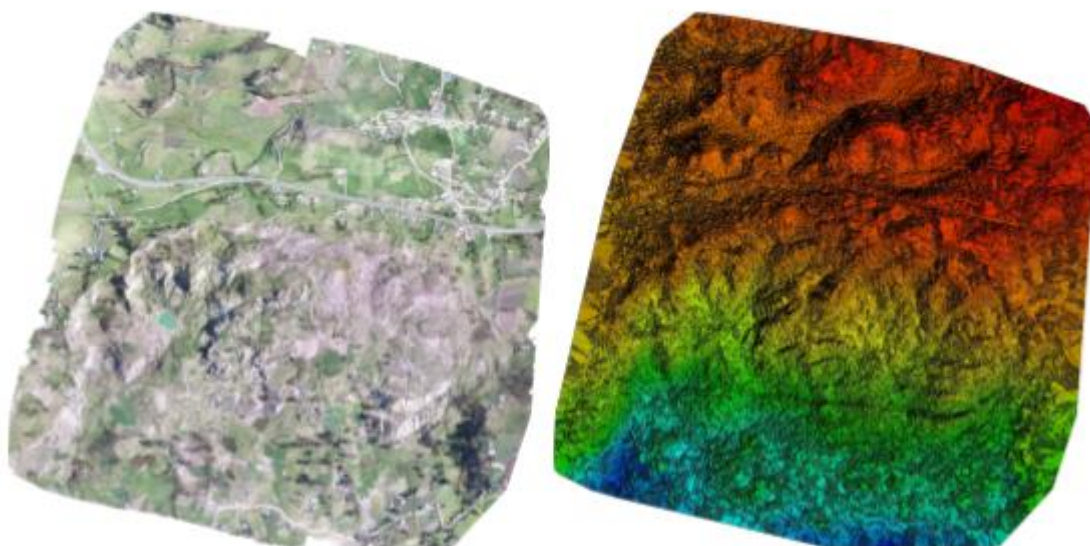


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Number of Calibrated Images	1165 out of 1748
Number of Geolocated Images	1748 out of 1748

Initial Image Positions

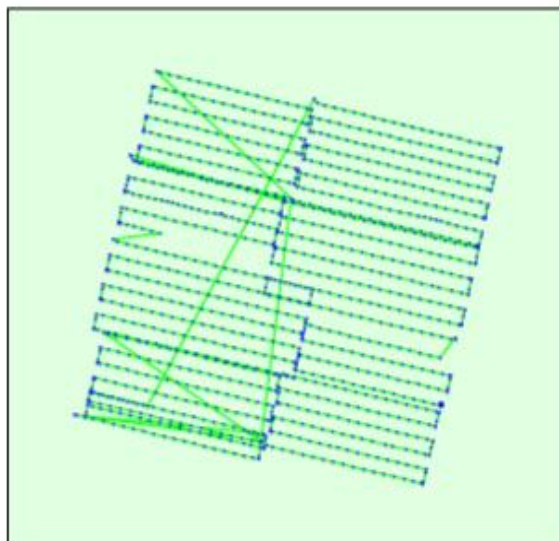
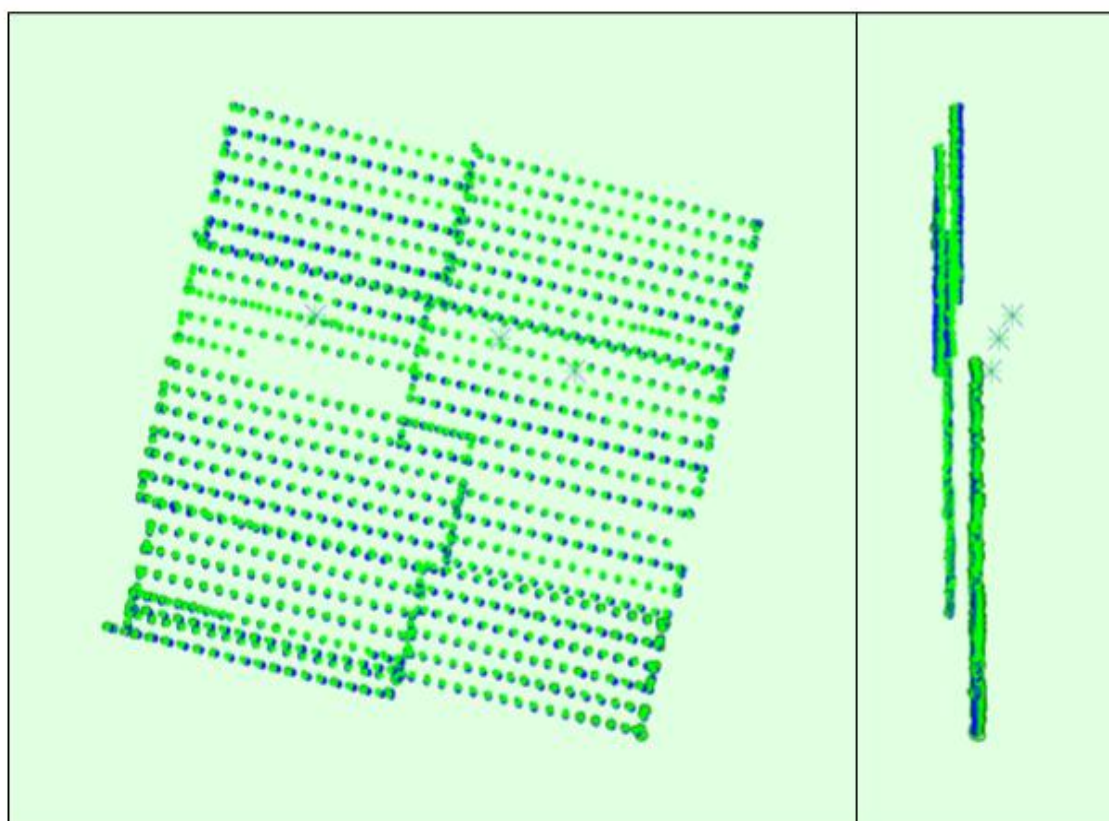
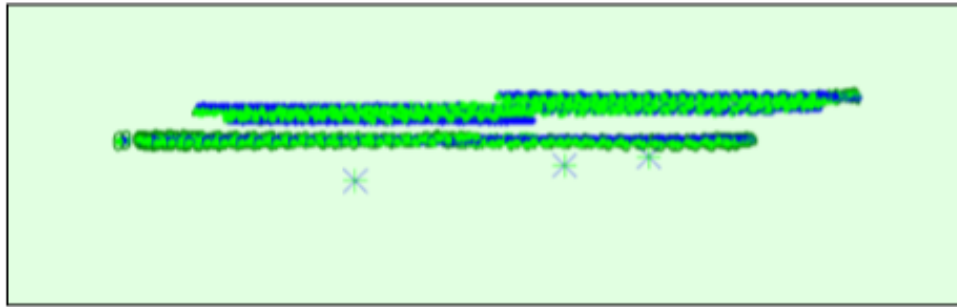


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 10x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.423	0.425	0.682	0.157	0.150	0.067
Sigma	0.163	0.138	0.302	0.034	0.036	0.018

🔍 Overlap

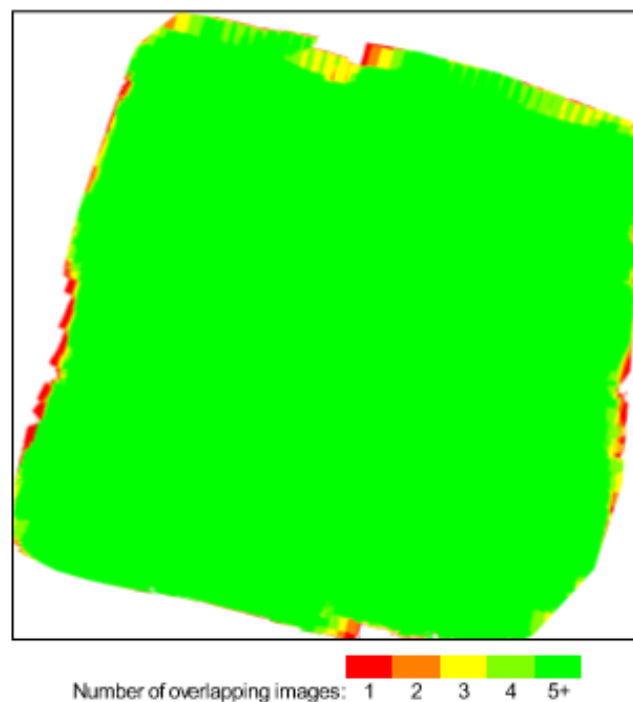


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1250695
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	374711
Mean Reprojection Error [pixels]	0.106

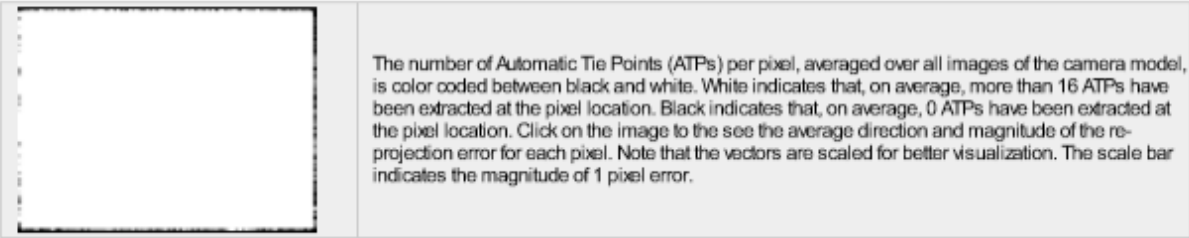
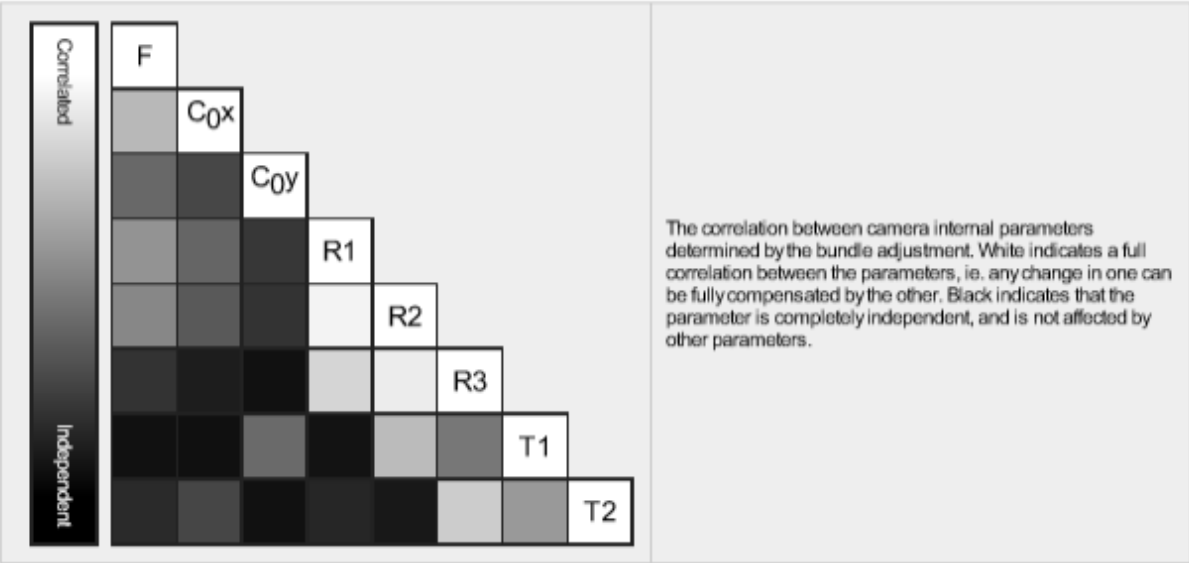
Internal Camera Parameters

FC350_3.6_4000x3000 (RGB). Sensor Dimensions: 6.317 [mm] x 4.738 [mm]



EXIF ID: FC350_3.6_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2285.722 [pixel] 3.610 [mm]	2000.006 [pixel] 3.159 [mm]	1500.003 [pixel] 2.369 [mm]	-0.130	0.106	-0.016	-0.000	0.000
Optimized Values	2343.481 [pixel] 3.701 [mm]	1984.271 [pixel] 3.134 [mm]	1524.922 [pixel] 2.408 [mm]	-0.130	0.106	-0.013	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	5.126 [pixel] 0.008 [mm]	0.626 [pixel] 0.001 [mm]	0.429 [pixel] 0.001 [mm]	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000



2D Keypoints Table



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	210166
In 3 Images	73328
In 4 Images	33062
In 5 Images	18086
In 6 Images	11019
In 7 Images	7257
In 8 Images	5064
In 9 Images	3500
In 10 Images	2591
In 11 Images	1998

In 12 Images	1536
In 13 Images	1160
In 14 Images	1015
In 15 Images	782
In 16 Images	618
In 17 Images	554
In 18 Images	440
In 19 Images	394
In 20 Images	279
In 21 Images	258
In 22 Images	245
In 23 Images	182
In 24 Images	144
In 25 Images	121
In 26 Images	103
In 27 Images	103
In 28 Images	89
In 29 Images	72
In 30 Images	61
In 31 Images	69
In 32 Images	61
In 33 Images	56
In 34 Images	43
In 35 Images	37
In 36 Images	39
In 37 Images	16
In 38 Images	28
In 39 Images	14
In 40 Images	20
In 41 Images	16
In 42 Images	13
In 43 Images	10
In 44 Images	14
In 45 Images	6
In 46 Images	9
In 47 Images	6
In 48 Images	1
In 49 Images	5
In 50 Images	3

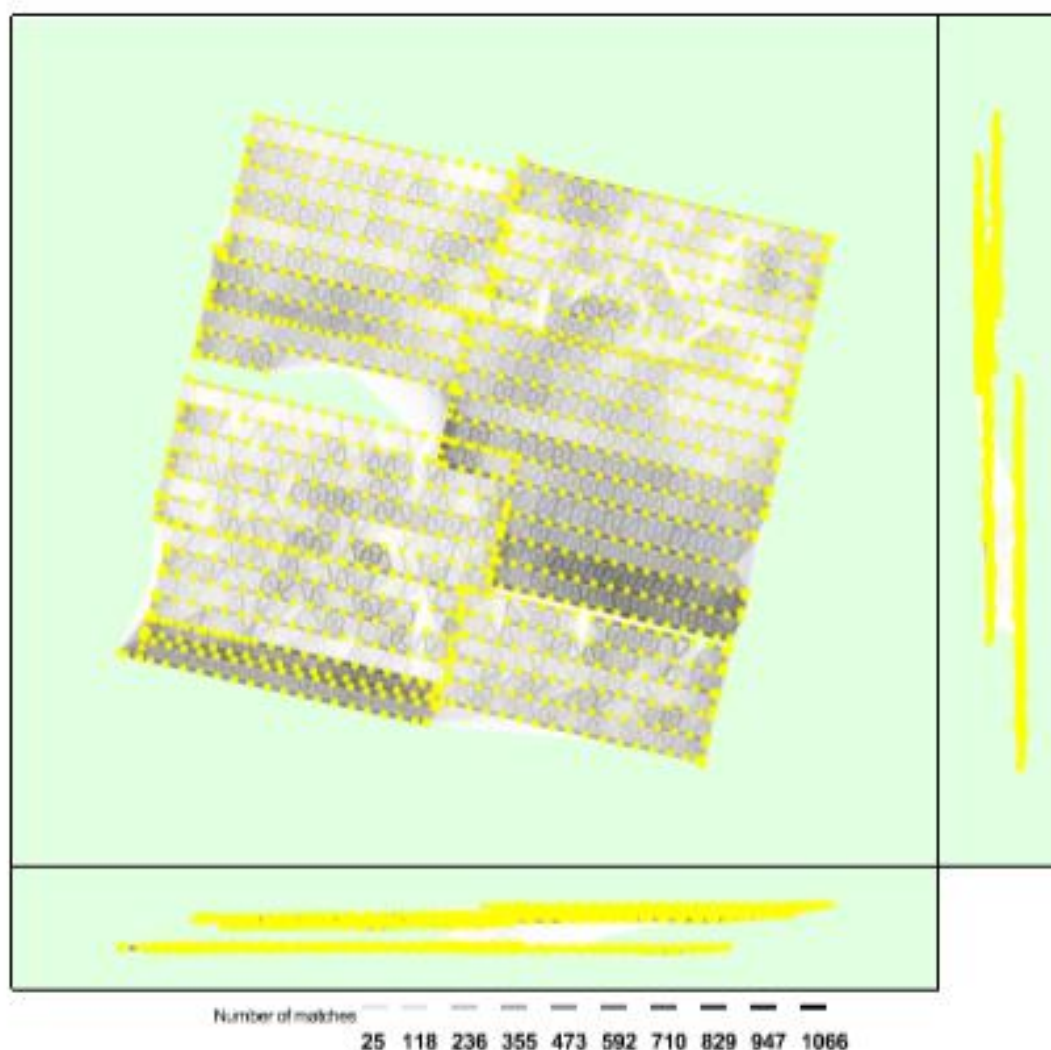


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual fix points or more images.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP 2 (2D)	0.000/0.020	-0.004	-0.010		0.116	22 / 22
GCP 1 (2D)	0.000/0.020	0.026	0.033		0.182	17 / 17
GCP 3 (2D)	0.000/0.020	-0.023	-0.021		0.119	16 / 16

0 out of 4 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP 5		-1.367	1.436	-26.484	0.506	7 / 8
GCP 6		-1.745	1.516	-27.005	0.141	6 / 6
GCP 7		-2.510	-2.466	-24.381	0.315	21 / 21
GCP 4		-1.330	-1.294	-30.105	0.130	13 / 13
Mean [m]		-1.743131	-0.196301	-27.513967		
Sigma [m]		0.470619	1.726286	2.100562		

RMS Error [m]		1.806544	1.737638	27.594062	
---------------	--	----------	----------	-----------	--

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

1 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.09
-12.00	-9.00	0.00	0.00	1.29
-9.00	-6.00	2.58	0.00	5.15
-6.00	-3.00	9.87	18.88	9.36
-3.00	0.00	25.96	52.96	24.38
0.00	3.00	30.64	26.70	35.54
3.00	6.00	17.42	1.45	17.34
6.00	9.00	10.82	0.00	5.67
9.00	12.00	1.72	0.00	1.20
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.160735	-1.145390	0.552675
Sigma [m]		3.741971	1.896795	3.824785
RMS Error [m]		3.917864	2.215775	3.864509

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

2 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	73.82	99.14	98.54
[-2.00, 2.00]	99.40	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]		5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]		0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS (degree)
Omega	3.466
Phi	2.273
Kappa	4.968

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz RAM 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 5500 (Driver: 20.19.15.4474)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

1

Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (egm96)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 17S (egm96)

Processing Options

1

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Density details

1

Processing Options

1

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results

1

Number of Generated Tiles	3
Number of 3D Densified Points	66724264
Average Density (per m ²)	13.32

DSM, Orthomosaic and Index Details

1

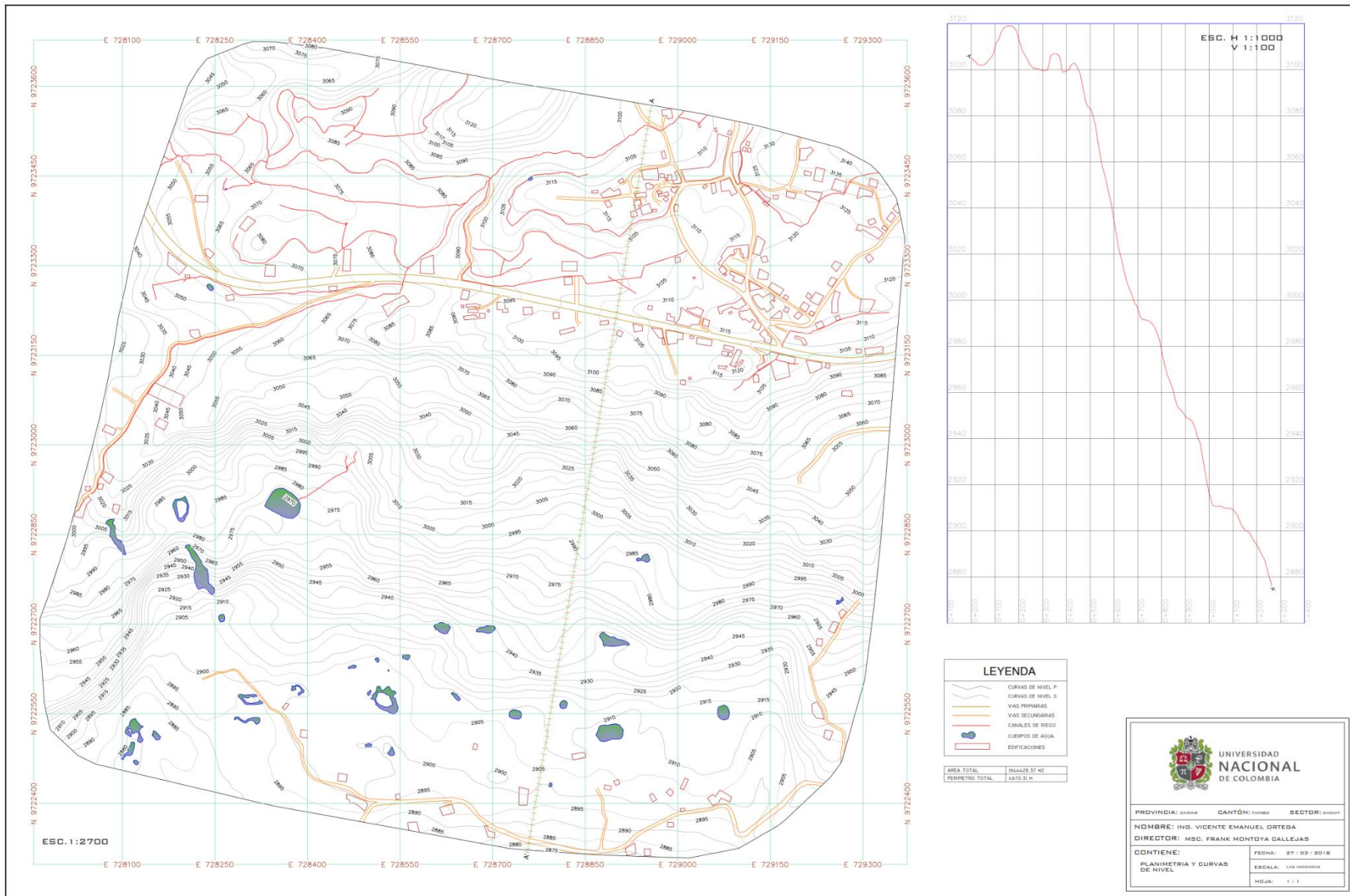
Processing Options

1

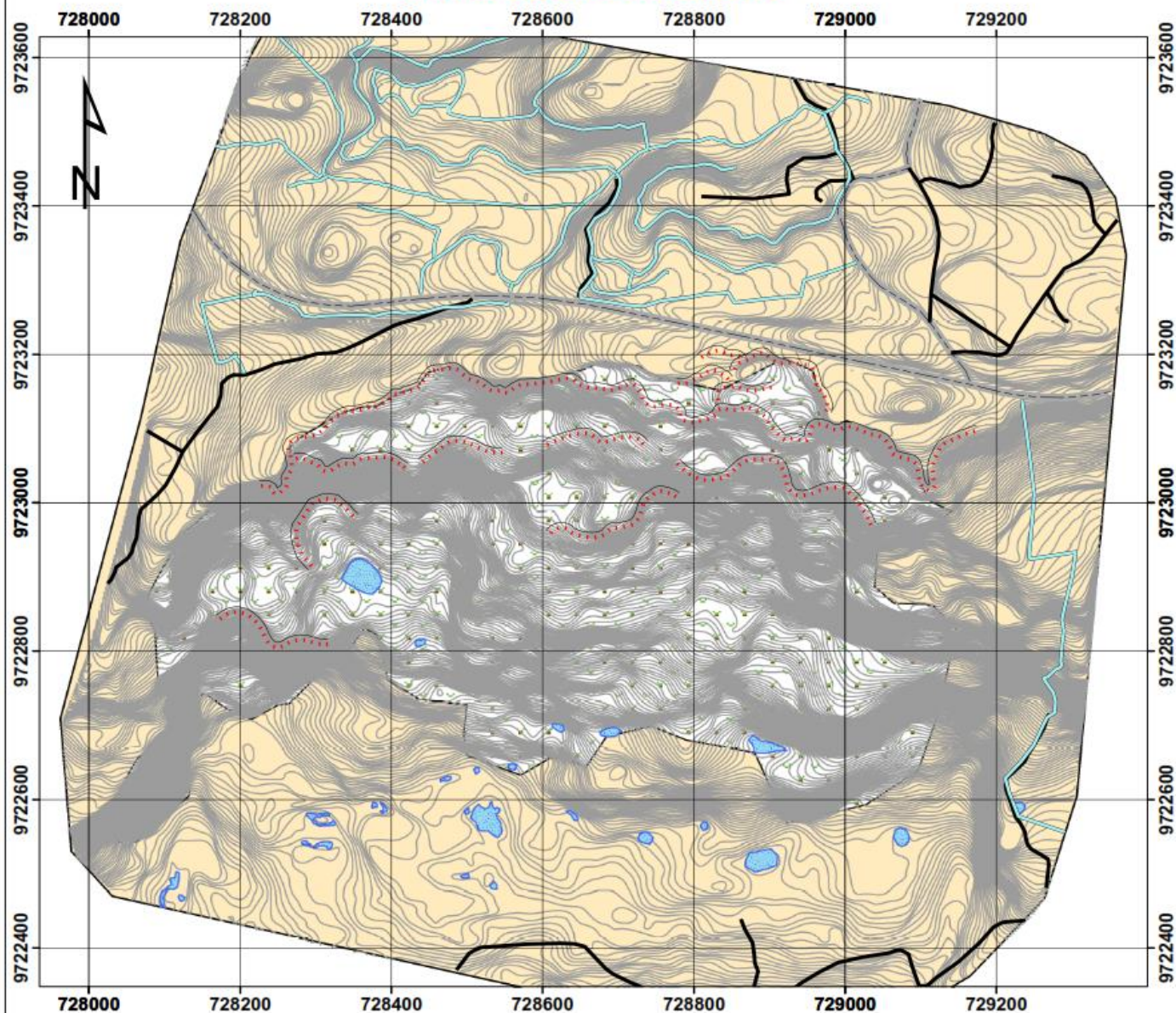
DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.69 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Triangulation Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes Geo TIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and HTML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 75
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes

ANEXO – 3

PLANOS Y MAPAS OBTENIDOS CON LOS RESULTADOS FOTOGRAMÉTRICOS



MAPA GEOMORFOLOGICO



UBICACIÓN A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL



SIMBOLOGIA

- CURVAS DE NIVEL
- ESCARPES ACTIVOS
- ASEQUIAS DE AGUA
- VIAS SECUNDARIAS
- VIAS PRIMARIAS
- DERRUMBE
- CUERPOS DE AGUA

ESCALAS Y PROYECCIÓN

Escala de Trabajo: 1:5.000
 Escala Gráfica: 0 250 500 1.000 Metros

Elipsoide.....Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)
 Cuadrícula.....1.000 metros, UTM, Zona 17 Sur.
 Proyección.....Universal Transversa de Mercator.
 Datum Vertical.....Nivel Medio del Mar.
 Datum Horizontal.....Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)



UNIVERSIDAD
 NACIONAL
 DE COLOMBIA

Provincia: CAJAR Cantón: TAMB Sector: CACHY

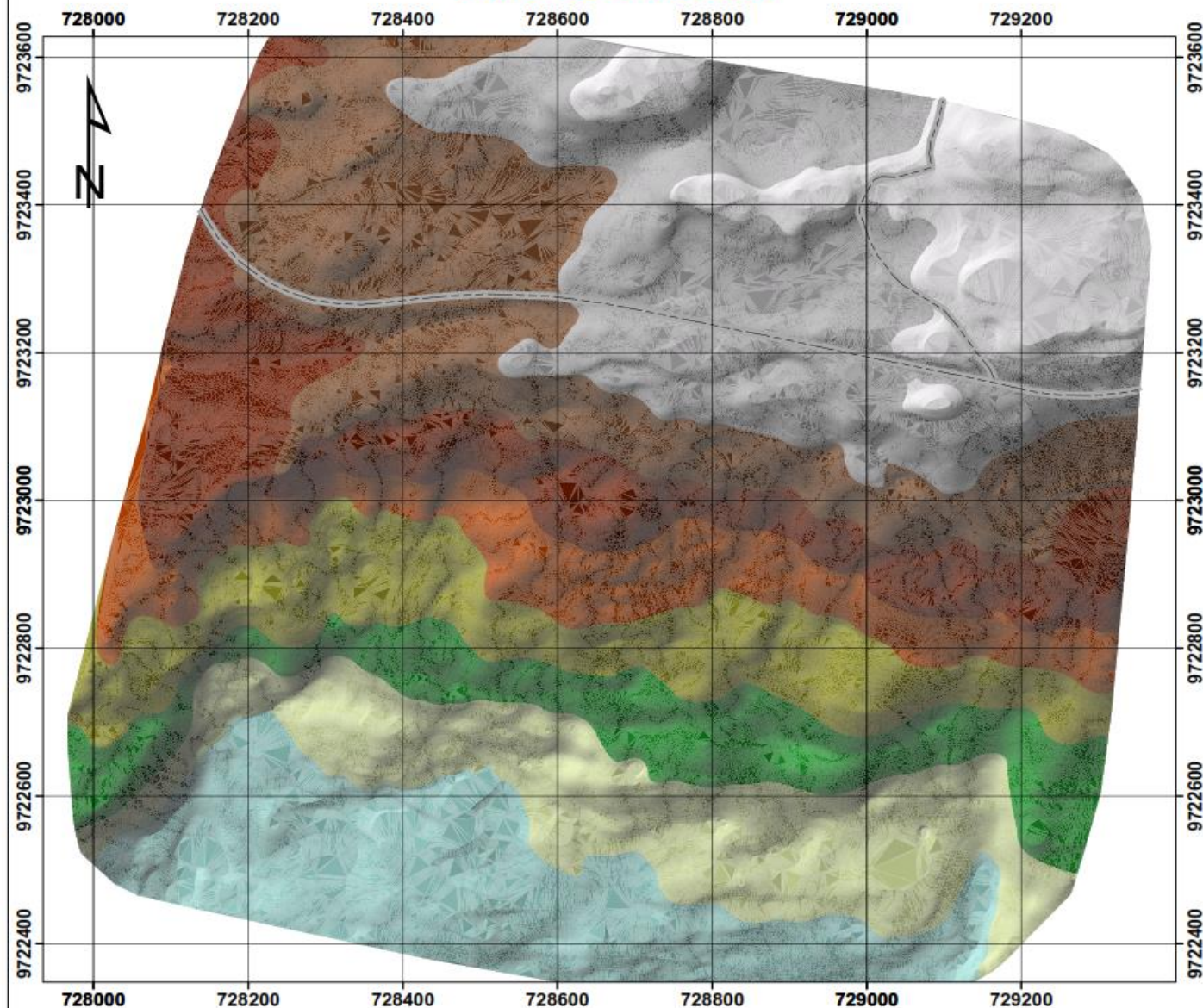
NOMBRE: ING. VICENTE EMANUEL ORTEGA

DIRECTOR: MSC. FRANK MONTOYA CALLEJAS

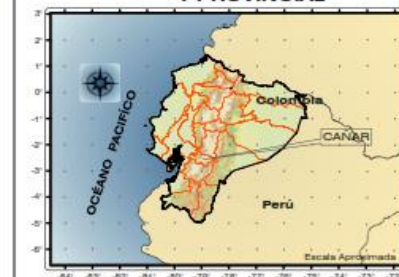
Mapa: GEOMORFOLOGICO Fecha: 26/03/2018

Fuentes de Información:
 - Cartografía Base INEC 2012 escala 1:50.000
 - Cartografía Base SNI 2014 escala 1:50.000

MAPA DE ELEVACION



UBICACIÓN A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL



SIMBOLOGIA

— VIAS PRIMARIAS

RANGO DE ELEVACION

3114 - 3144

3094 - 3114

3054 - 3094

3024 - 3054

2994 - 3024

2964 - 2994

2934 - 2964

2904 - 2934

2874 - 2904

ESCALAS Y PROYECCIÓN

Escala de Trabajo: 1:5,000

Escala Gráfica: 0 250 500 1,000 Metros

Elipsoide.....Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)

Cuadrícula.....1,000 metros, UTM, Zona 17 Sur.

Proyección.....Universal Transversa de Mercator.

Datum Vertical.....Nivel Medio del Mar.

Datum Horizontal.....Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Provincia: CANAR Cantón: TAMBO Sector: GACHY

NOMBRE: ING. VICENTE EMANUEL ORTEGA

DIRECTOR: MSC. FRANK MONTOYA CALLEJAS

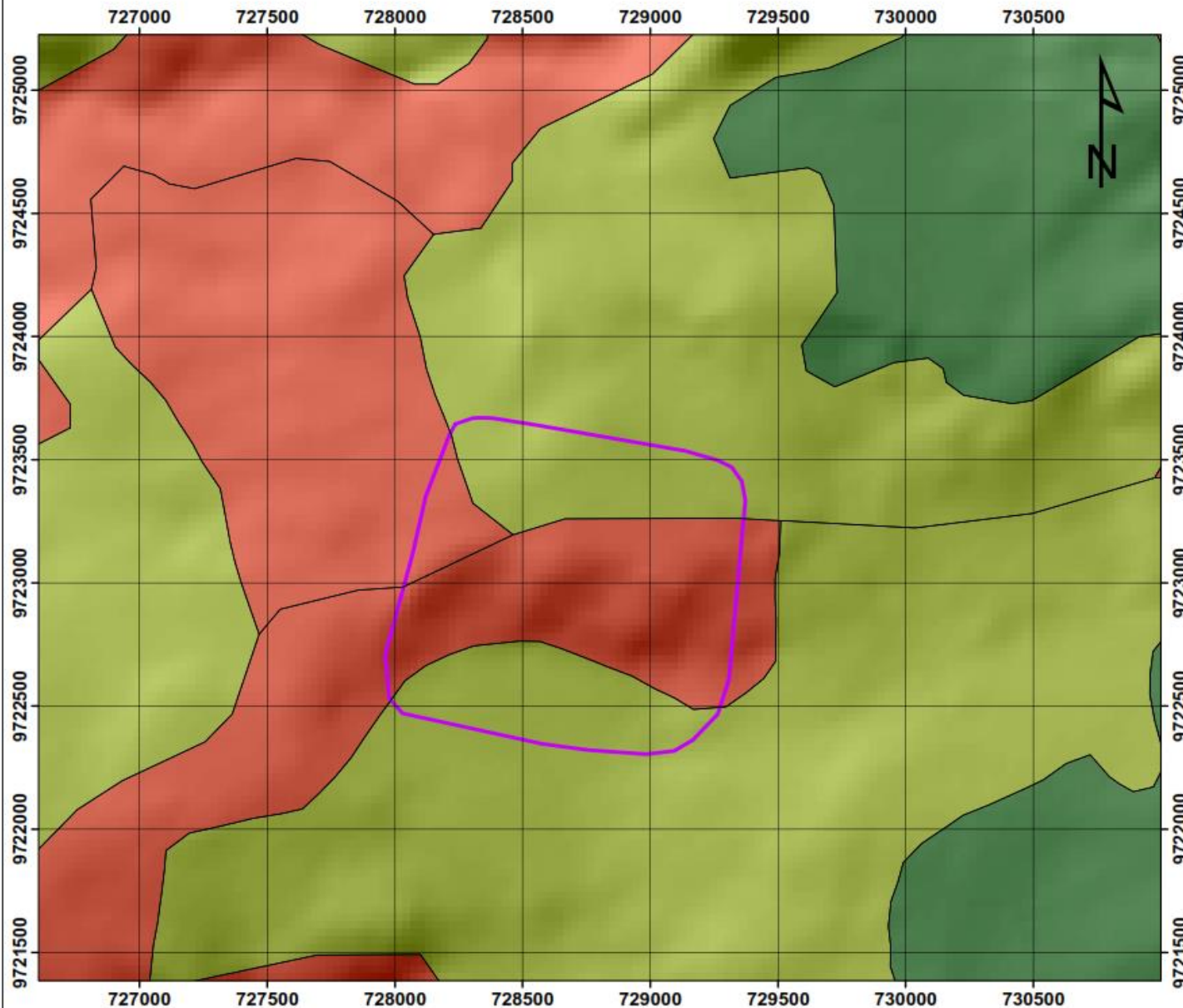
Mapa: ELEVACION Fecha: 26/03/2018

Fuentes de Información:

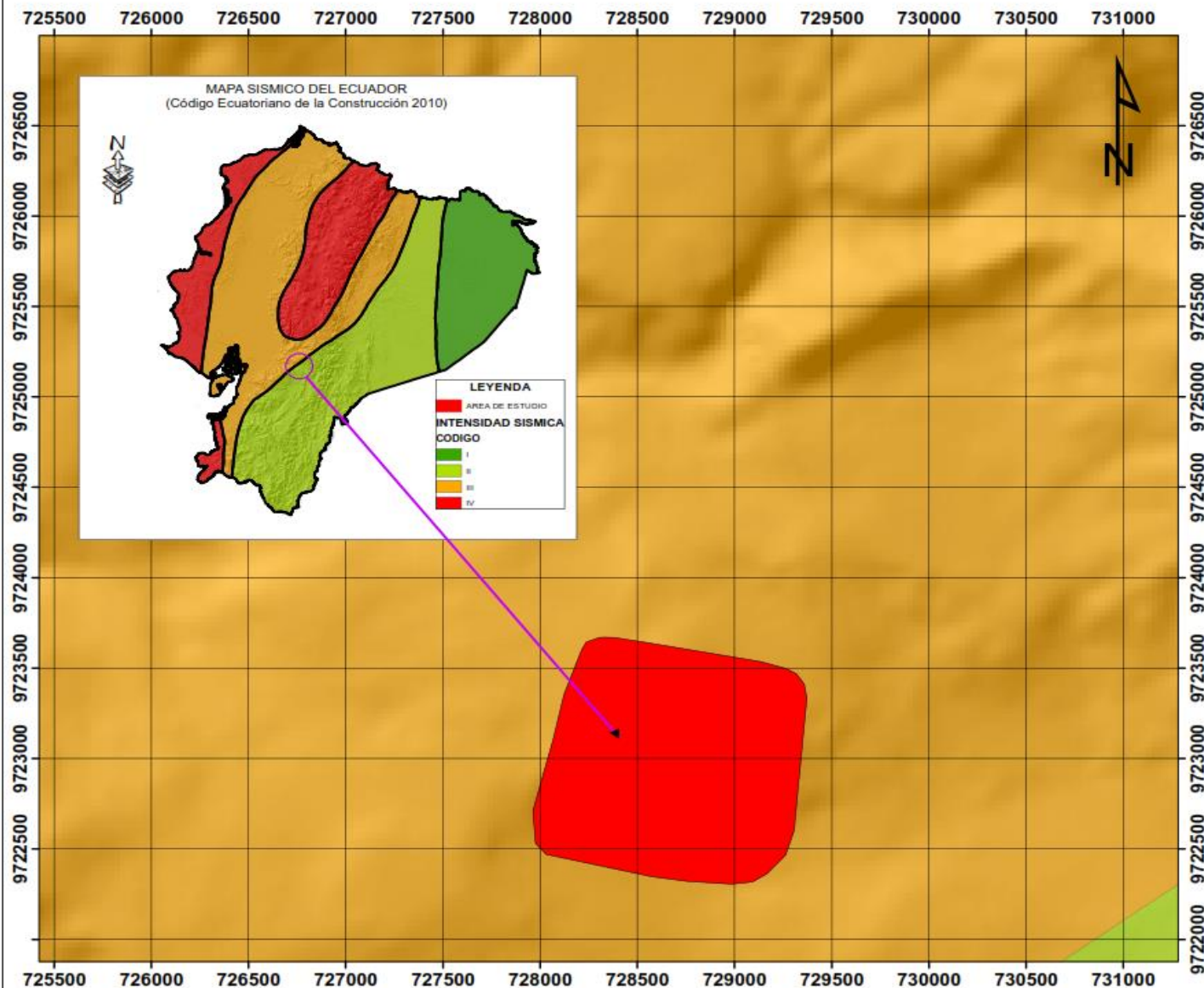
- Cartografía Base INEC 2012 escala 1:50,000

- Cartografía Base SNI 2014 escala 1:50,000

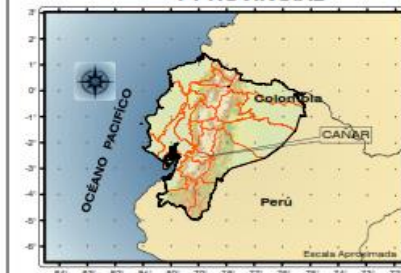
MAPA DE MOVIMIENTOS EN MASA



MAPA SISMICO



UBICACIÓN A NIVEL NACIONAL Y PROVINCIAL



SIMBOLOGIA

- AREA DE ESTUDIO
- DB_INTENSIDAD_SISMICA
- INTENSIDAD SISMICA
- CODIGO
- I
II
III
IV

ESCALAS Y PROYECCIÓN

Escala de Trabajo: 1:6.669.805

Escala Gráfica: 0 250 500 1.000 Metros

Elipsoide: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)

Quadricula: 1.000 metros, UTM, Zona 17 Sur.

Proyección: Universal Transversa de Mercator.

Datum Vertical: Nivel Medio del Mar.

Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Provincia: CAÑAR Cantón: TAMBO Sector: GACRY

NOMBRE: ING. VICENTE EMANUEL ORTEGA

DIRECTOR: MSC. FRANK MONTOYA CALLEJAS

Mapa: SISMICO Fecha: 26/03/2018

Fuentes de Información:
- Cartografía Base INEC 2012 escala 1:50.000
- Cartografía Base SNI 2014 escala 1:50.000

Bibliografía

- Al-Rawabdeh, A., Moussa, A., Foroutan, M., El-Sheimy, N., & Habib, A. (2017). Time Series UAV Image-Based Point Clouds for Landslide Progression Evaluation Applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102378>
- Brabb E.E., Hrod B.L. (1989). "Landslides: Extent and economic significance": Proc., 28th International Geological Congress: Symposium on landslides, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 385 p.
- Jorge Ellis, Rafael Guardado Lacaba, Iliana Sánchez Boschini (2012). Deslizamientos, Efectos, Evaluación y Gestión de Riesgo. Quito: Unesco, Cytecd.
- Aeronáutica Civil, U. administrativa especial. (2015). Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia RPAS- Drones. Retrieved February 27, 2018, from <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/sistema-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas-drones/reglamentacion>
- Aeronavegabilidad y Clasificación de Drones Drones y Rpas. Curso Piloto y Permisos. (n.d.). Retrieved from <http://www.miprimerdron.com/aeronavegabilidad-y-clasificacion-drones/>
- Bejarano, J. D. M. (2013). Técnicas de fotogrametría y visión por computador para el modelado 3D de estructuras geomorfológicas dinámicas, 155.
- Bejerano G, P. (2014). El origen de la realidad aumentada. Retrieved June 3, 2018, from <https://blogthinkbig.com/realidad-aumentada-origen>
- Coello Romero, A., & Ballesteros Abellán, G. (2015). Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica. Retrieved from http://oa.upm.es/34699/1/PFC_ALBA_COELLO_ROMERO.pdf
- Cuerno, C. (2015). Origen y desarrollo de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas por Control remoto.

E.t.s. i. Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, 1, 15.

Ducoy, D. (2015). DRON, DRONE, UAV, UAS, RPA, RPAS. ¿Qué son? ¿Cómo llamarlos correctamente? | MasScience. Retrieved February 3, 2018, from <https://www.masscience.com/2015/08/11/2051/>

Giménez Rodríguez María Elena Ros Bernabeu Gravitación Astrofísica, T. (2009). SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS). Retrieved from http://webs.um.es/bussons/GPSresumen_TamaraElena.pdf

Gómez, J. (2008). Introducción a la fotogrametría digital: el método general de la fotogrametría digital, 23.

Hernández, S., & Santos, Y. (2015). *Estado del Arte de la Realidad Aumentada como herramienta para contexto industrial y otras áreas.*

Herrera, B. (1987). *Elementos de fotogrametría.* (U. A. Chapingo, Ed.) (Limusa).

ICGeo, & Ingeniería Civil Y Geología. (n.d.). Para que sirve el traslape en la fotogrametría con Drones. Retrieved February 24, 2018, from <http://www.icgeo.org/2018/02/para-que-sirve-el-traslape-en-la.html>

IINGE. (2018). ¿Qué componentes tiene un Drone? ~ Institute of Innovation and Global Education. Retrieved March 7, 2018, from http://www.iinge.org/2017/12/que-componentes-tiene-un-drone_26.html

Innovae. (2018). Realidad Aumentada | Historia de la Realidad Aumentada. Retrieved June 3, 2018, from <http://realidadaumentada.info/realidad-aumentada/>

KZgunea. (2014). Concepto realidad aumentada: Definición, utilidad y aplicaciones – KZblog. Retrieved March 23, 2018, from <http://kzgunea.blog.euskadi.eus/blog/2014/06/12/concepto-realidad-aumentada/>

- López, C. M. (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. *Los Drones y Sus Aplicaciones a La Ingeniería Civil*, 77–94.
- Lopez, P. B. (2016). Sistemas de Coordenadas Proyectadas y Geográficas: ¿Cuál es la diferencia? – Geographic Information Systems Blog. Retrieved March 9, 2018, from <https://paulblgis.wordpress.com/2016/12/09/sistemas-de-coordenadas-proyectadas-y-geograficas-cual-es-la-diferencia/>
- Morocho, C. (2014). Tecnología hoy y Alas: DRONES. Retrieved March 5, 2018, from <http://tecnoyalas.blogspot.com/2014/07/drones.html>
- Orellana, R. (2006). Apuntes de Fotogrametría, 1–55.
- Otero, I., Ezquerro, a., Rodríguez Solano, R., Martín, L., & Bachiller, I. (2008). Fotogrametría, 1–134. Retrieved from http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGRAFIETRIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf
- Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial del Cantón Tambo. (2014). *Municipio Comunitario El Tambo*. Retrieved from <http://www.gadmicet.gob.ec/images/documentos/PDOT2015.pdf>
- Precupa. (1998). Geología Y Geotecnia (Terrenos Inestables). In *PRECUPA, CSS (COORPORACIÓN ECUADOR-SUIZA)* (p. B8).
- Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S., & Casagli, N. (2017). Brief Communication: Use of multicopter drone optical images for landslide mapping and characterization. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, (February), 1–14. <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-46>

- Rusinkiewicz, S., & Levoy, M. (2000). QSplat. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '00* (pp. 343–352). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/344779.344940>
- Salvador, U. D. E. E. L. (2016). APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS.
- Sánchez Fenoll, Z. (2014). PROCESADO FOTOGRAMÉTRICO A PARTIR DE IMÁGENES DIGITALES Y GENERACIÓN DE DATOS ESPACIALES PARA MODELO 3D . *TFM, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALÉNCIA*.
- Santana, E. (2017). Tipos de drones - Conoce todos los tipos de drones que existen. Retrieved March 5, 2018, from <http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>
- Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry.
- Seguí, A. E., Portalés, C., Cabrelles, M., & Lerma, J. L. (n.d.). Los sistemas de Información Geográfica. *Loggia*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94278/3008-8413-1-SM.pdf?sequence=1>
- Tostado, F. J. (2016). Las primeras fotografías aéreas de la historia | franciscojaviertostado.com. Retrieved February 3, 2018, from <https://franciscojaviertostado.com/2016/03/14/las-primeras-fotografias-aereas-de-la-historia/>
- Vázquez, J. C., A, P. M., & Pohls, B. (2017). *Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte*.
- Villarroel, D., & Scaramuzza, F. (2014). El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección. *13º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y Expo de Máquinas Precisas*, (1), 175–

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiMkOaKxp3UAhXFYyYKHeBrA98QFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agriculturadeprecision.org%2FdescargaItem.asp%3Fitem%3D%2F13roCursoAgPrec%2FLibro%2Fc3_Libro13CursoAP2014.pdf&

Walstra, J., Chandler, J. H., Dixon, N., & Dijkstra, T. A. (2007). Aerial photography and digital photogrammetry for landslide monitoring, 53–63.

Niethammer, U., Rothmund, S., Joswig, M., James, M., & Travelletti, J. (2010). *UAV-based remote sensing of landslides. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (Vol. XXXVIII Pa).

Zapata, O. (2003a). Fundamentos de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales, 327.

Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>

Zapata, O. (2003b). Fundamentos de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 327. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>